

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LUTTE CONTRE *SITOPHILUS ORYZAE* L. (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)
ET *TRIBOLIUM CASTANEUM* HERBST (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)
DANS LES STOCKS DE RIZ PAR LA TECHNIQUE D'ÉTUVAGE TRADITIONNELLE
PRATiquÉE EN BASSE-GUINÉE ET L'UTILISATION
DES HUILES ESSENTIELLES VÉGÉTALES

THÈSE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR
AÏSSATA CAMARA

MARS 2009

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

AVANT-PROPOS

Cette thèse porte sur l'évaluation de quelques méthodes ou techniques traditionnelles pour la protection des céréales en post-récolte sur *Sitophilus oryzae* L. et *Tribolium castaneum* Herbst en zone rurale. Le choix de ce thème nous a paru intéressant pour les raisons qui suivent :

1) Participer à la lutte contre l'utilisation des pesticides en post-récolte afin d'éviter les problèmes liés :

- aux coûts des pesticides,
- à la dégradation de l'environnement,
- à la santé des populations en milieu rural;

2) Contribuer à la lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté, de même que le développement de méthodes compatibles au développement durable.

Nos travaux sont limités à l'évaluation des effets de l'étuvage traditionnel et de ceux des huiles essentielles extraites des feuilles de trois plantes locales (*Ocimum basilicum*, *Ocimum gratissimum* et *Cymbopogon citratus*) sur deux importants ravageurs des stocks cités plus haut. Il reste encore de nombreuses plantes locales douées de propriétés insecticides, de plusieurs autres techniques traditionnelles et de nombreux autres insectes des stocks qui méritent d'être étudiées. Nous pensons que les données obtenues au cours de cette recherche serviront de base pour la sensibilisation de la population paysanne à la valorisation de leur savoir faire traditionnel.

Nous adressons nos vifs remerciements en premier lieu au Programme Canadien des Bourses de la francophonie (PCBF) pour son assistance financière, au corps professoral de l'UQAM, particulièrement de l'Institut des sciences de l'environnement (ISE) et à l'équipe de l'encadrement de la thèse :

- Dr. Michel Raymond, professeur au Département des sciences biologiques UQAM;

- Dr. Charles Vincent, chercheur à Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu, professeur associé à l'UQAM;
- Dr. Sékou Moussa Kéita, Professeur au Centre d'Étude et de Recherche (CERE) Université de Conakry;
- Dr. Éric Lucas, professeur à l'UQAM, Département des sciences biologiques pour leur constante disponibilité.

Nos reconnaissances vont ensuite au :

- Dr. Traoré du laboratoire des Sciences Agronomiques de Kindia pour sa participation à la culture des insectes utilisés
- Dr. Mohamed du laboratoire du département de chimie de l'UQAM pour sa participation aux procédures d'aromatisation des argiles
- M. Pierre Lemoyne, technicien à Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu, pour sa participation au traitement statistique des données
- Dr. Geneviève Patterson et Dr Livain Breau, tous deux du Département de chimie de l'UQAM pour leur soutien matériel.

Nos remerciements vont également à :

- mon cher mari, M. Almamy Stell Conté, Directeur National des Archives de Guinée et à nos enfants pour leur patience et leur courage,
- ma chère mère, Hadja Mamady Sakho, pour son courage et ses conseils
- Dr. Ibrahima Boiro, Directeur du CERE et à toute l'équipe du Centre
- aux étudiants du laboratoire de lutte biologique du Dr Éric Lucas
- aux chercheurs du laboratoire de chimie ainsi qu'à ceux du laboratoire des sciences de la terre et de l'atmosphère de l'UQAM pour leur soutien matériel, moral et leur assistance à mes travaux de recherche.

Qu'en soit ensuite remerciés les collaborateurs et amis:

- Dr. Dan Lansana Kourouma et Madame
- M. Lancyné Sakho et Madame
- M. Cissé Mamady et Madame
- M. Soumah Paco et Madame
- M. Karim Samoura et Madame
- Mme Aminata Soumah et sœurs pour leur soutien moral et leur aide.
- aux villageois et villageoises pour leur participation à l'achat et la préparation des échantillons de riz, la localisation, la récolte et le transport des feuilles.

Enfin nos remerciements vont à tous ceux qui, de près et de loin, ont contribué à l'élaboration de cette thèse.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES PLANCHES ANNEXÉES.....	xii
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES.....	xii
RÉSUMÉ GÉNÉRAL.....	xvi
CHAPITRE I	
INTRODUCTION GÉNÉRALE	
1.1 Problèmes liés à la conservation des grains en post-récolte.....	2
1.2 Revue de la littérature sur l'utilisation des huiles essentielles végétales contre les insectes ravageurs des denrées en stockage.....	8
1.3 Perspectives de l'utilisation des huiles essentielles.....	17
1.4 Revue de la littérature sur l'utilisation de la technique traditionnelle d'étuvage du riz contre les insectes ravageur des denrées en stockage.....	18
1.5 Présentation de la Guinée.....	22
1.5.1 Présentation de la Basse Guinée.....	22
1.6 Le riz.....	23
1.6.1 Origine botanique du riz.....	23
1.6.2 Description du plant de riz.....	24
1.6.3 Description du grain de riz.....	25
1.7 Description des insectes ciblés.....	25
1.7.1 <i>Sitophilus oryzae</i> L.	26
1.7.2 <i>Tribolium castaneum</i> Herbst.....	27

1.8 Description des plantes étudiées.....	28
1.8.1 <i>Ocimum basilicum</i> L. et <i>Ocimum gratissimum</i> L.	28
1.8.2 <i>Cymbopogon citratus</i> Stapf.....	30

CHAPTRE II

LUTTE CONTRE *SITOPHILUS ORYZAE*. ET *TRIBOLIUM CASTANEUM* PAR L'UTILISATION DE LA TECHNIQUE D'ÉTUVAGE TRADITIONNELLE PRATiquÉE EN BASSE-GUINÉE

Résumé.....	42
2.1 Introduction.....	43
2.2 Matériel et méthode.....	44
2.2.1 Matériel biologique.....	44
Insectes utilisés.....	44
Milieux alimentaires.....	45
2.2.2 Méthodes expérimentales.....	46
Technique de coloration (Holloway 1985).....	47
2.3 Analyses statistiques.....	47
2.4 Résultats.....	48
2.4.1 Nombre d'adultes survivants après 15 jours	48
2.4.2 Nombre de trous de ponte.....	48
2.4.3 Nombre d'adultes survivants émergés durant 3 mois.....	49
2.5 Discussion et conclusion.....	49
Bibliographie.....	52

CHAPITRE III

EFFETS DES POUDRES D'ARGILE AROMATISÉES AVEC LES HUILES ESSENTIELLES D'*OCIMUM BASILICUM* L, D'*OCIMUM GRATISSIMUM* L. ET DE *CYMBOPOGON* *CITRATUS* STAPH SUR *SITOPHILUS ORYZAE* L. ET *TRIBOLIUM CASTANEUM* HERBST DANS LES STOCKS DE RIZ

Résumé.....	61
3.1 Introduction.....	62
3.2 Matériel et méthode.....	64

3.2.1	Matériel biologique.....	64
	Matériel végétal.....	64
	Extraction des huiles essentielles.....	64
	Élevage des insectes.....	65
3.2.2	Préparation des poudres d'argiles.....	65
	Analyse physico-chimique.....	65
	Mesure de la conductivité et du pH des argiles.....	66
	Identification des constituants minéraux.....	66
	Procédure d'aromatisation de la poudre d'argile.....	66
3.2.3	Méthode expérimentale.....	67
3.3	Analyses statistiques.....	67
3.4	Résultats.....	68
3.4.1	Extraction des huiles.....	68
3.4.2	Analyse physico-chimique des argiles.....	68
3.4.3	Résultats expérimentaux.....	69
	Expérience avec <i>S. oryzae</i>	69
	Expérience avec <i>T. castaneum</i>	69
3.5	Discussion et conclusion.....	70
	Bibliographie.....	73

CHAPITRE IV

EFFET INSECTICIDE DES HUILES ESSENTIELLES D'*OCIMUM BASILICUM* L, D'*OCIMUM GRATISSIMUM* L ET DE *CYMBOPOGON CITRATUS* STAPH PAR FUMIGATION CONTRE *SITOPHILUS ORYZAE* L ET *TRIBOLIUM CASTANEUM* HERBST

	Résumé.....	84
4.1	Introduction.....	85
4.2	Matériel et méthode.....	87
4.2.1	Matériel biologique.....	87
	Préparation du matériel végétal.....	87
	Extraction des huiles essentielles.....	87

Élevage des insectes.....	88
4.2.2 Méthode expérimentale.....	88
4.3 Analyses statistiques.....	89
4.4 Résultats.....	90
4.4.1 Extraction des huiles essentielles.....	90
4.4.2 Activité des huiles en fonction du temps.....	90
4.4.3 Concentration létales CL ₅₀ et CL ₉₀	92
4.5 Discussion et conclusion.....	92
Bibliographie.....	95

CHAPITRE V

ACTIVITÉ INSECTICIDE DES HUILES ESSENTIELLES D'*OCIMUM BASILICUM* L, D'*OCIMUM GRATISSIMUM* L ET DE *CYMBOPOGON CITRATUS* STAPF SUR *SITOPHILUS* *ORYZAE* L ET *TRIBOLIUM CASTANEUM* HERBST PAR CONTACT DANS LES MILIEUX ALIMENTAIRES

Résumé.....	107
5.1 Introduction.....	108
5.2 Matériel et méthode.....	109
5.2.1 Matériel biologique.....	109
Matériel végétal.....	109
Extraction des huiles essentielles.....	109
Élevage des insectes.....	110
5.2.2 Méthode expérimentale.....	110
5.3 Analyses statistiques.....	111
5.4 Résultats.....	112
5.4.1 Expériences 1.....	112
Huile d' <i>Ocimum basilicum</i>	112
Huile d' <i>Ocimum gratissimum</i>	113
Huile de <i>Cymbopogon citratus</i>	113
5.4.2 Expérience 2.....	114
5.5 Discussion et conclusion.....	114
Bibliographie.....	116

CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS.....	121
BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE	127
PLANCHES ANNEXÉES.....	142

LISTE DES FIGURES

FIGURES	PAGES
1.1 Régions naturelles de Guinée.....	32
1.2 Commerce du riz étuvé (a) et transport du riz importé (b).....	33
1.3 Champ de riz (a) et Plant de riz (b).....	34
1.4 Coupe de grain de riz.....	34
1.5 <i>Sitophilus oryzae</i> L. adulte (Coleoptera : Curculionidae).....	35
1.6 Développement de <i>Sitophilus oryzae oryzae</i>	35
1.7 <i>Tribolium castaneum</i> Herbst adulte (Coleoptera : Tenebrionidae)	36
1.8 Œufs, larves, nymphe et adulte de <i>Tribolium castaneum</i>	36
1.9 <i>Ocimum basilicum</i> L.....	37
1.10 <i>Ocimum gratissimum</i> L.....	38
1.11 <i>Cymbopogon citratus</i> Stapf.....	39
2.1 Nombre moyen d'adultes survivants de <i>S. oryzae</i> après 15 jours	55
2.2 Nombre moyen d'adultes survivants de <i>S. oryzae</i> associé à <i>T. castaneum</i>	55
2.3 Nombre moyen d'adultes survivants de <i>T. castaneum</i>	56
2.4 Nombre moyen de trous de ponte pour <i>S. oryzae</i> seul après 15 jours.....	57
2.5 Nombre moyen de trous de ponte pour <i>S. oryzae</i> associé à <i>T. castaneum</i>	57
3.1 Détermination du temps de séchage en fonction de la quantité d'huile obtenue.....	76

3.2	Identification des constituants minéraux (présence du kaolinite, muscovite et smectite dans l'argile blanche) par rayon X	77
4.1	Nombre moyen de <i>S. oryzae</i> morts sous l'effet des différents volumes d'huile d' <i>Ob</i> en fonction du temps.....	98
4.2	Nombre moyen de <i>T. castaneum</i> morts sous l'effet des différents volumes d'huile d' <i>Ob</i> en fonction du temps.....	99
4.3	Nombre moyen de <i>S. oryzae</i> morts sous l'effet des différents volumes d'huile d' <i>Og</i> en fonction du temps	100
4.4	Nombre moyen de <i>T. castaneum</i> morts sous l'effet des différents volumes d'huile d' <i>Og</i> en fonction du temps	101

LISTE DES PLANCHES ANNEXÉES

ANNEXES	PAGES
A.1 Cultures mères des insectes sur le maïs et sur le riz (de a à f).....	143
A.2 Technique traditionnelle d'étuvage (a) et séchage du paddy (b).....	144
A.3 Les milieux alimentaires (a) et les collaborateurs villageois (b).....	145
A.4 Infestation et entreposage des milieux alimentaires (a,c, et d) et visite du Directeur de thèse en Guinée (b).....	146
A.5 Coloration, observation et dénombrement des trous de ponte.....	147
A.6 Insectes morts éliminés dans les riz étuvés.....	148
A.7 Découpage et séchage des feuilles au laboratoire du CERE (a,b, c,).....	149
A.8 Extraction et conservation des huiles obtenues.....	150
A.9 Mélange des milieux alimentaires avec les poudres aromatisées (a, et b).....	151
A.10 Montage des flacons et échantillons préparés pour fumigation (b, c, d, e, f).....	152
A.11 Milieux témoins (a et b) avec les riz non étuvés (c et d) et étuvés (e et f) mélangés à l'huile d'Ob pour les expériences 1 et 2 du Chapitre V.....	153
A.12 Riz non étuvés et étuvés mélangés aux huiles d'Og et de Cc pour l'expérience 1 et 2 du Chapitre V.....	154

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAUX	PAGES
2.1 Nombre moyen (N = 30 répétitions) d'adultes survivants selon les milieux RNEB, RNEP, REB, REP et RER.....	58
3.1 Rendement en huiles essentielles des feuilles récoltées en février 2006 en Guinée	78
3.2 Conductivité et pH moyens (écart type) pour les différents types d'argiles (N = 5).....	79
3.3 Nombre moyen (écart type) de <i>S. oryzae</i> survivants dans RNEB, RNEP et REB (N = 30 répétitions).....	80
3.4 Nombre moyen (écart type) de <i>T. castaneum</i> survivants dans RNEB, RNEP et REB (N = 30 répétitions).....	81
4.1 Rendements en huiles essentielles des feuilles récoltées en juin 2007 en Guinée.....	102
4.2 Concentration létales de l'huile d' <i>Ob</i> chez des adultes de <i>S. oryzae</i> (A) et chez des adultes de <i>T. castaneum</i> (B) par fumigation en fonction du temps (N = 5).....	103
4.3 Concentration létales de l'huile d' <i>Og</i> chez des adultes de <i>S. oryzae</i> (A) et chez des adultes de <i>T. castaneum</i> (B) par fumigation en fonction du temps (N = 5).....	104
5.1 Nombre moyen (écart type) des adultes survivants de <i>S. oryzae</i> et de <i>T. castaneum</i> dans les milieux aromatisés avec <i>Ocimum basilicum</i>	118
5.2 Nombre moyen (écart type) des adultes survivants de <i>S. oryzae</i> et de <i>T. castaneum</i> dans les milieux aromatisés avec <i>Ocimum gratissimum</i>	119
5.3 Nombre moyens (écart type) des adultes survivants de <i>S. oryzae</i> et de <i>T. castaneum</i> dans les milieux aromatisés avec <i>Cymbopogon citratus</i>	120

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

ANOVA	Analysis Of Variance
CERE	Centre d'Étude et de Recherche en Environnement
CL50	Concentration létale 50
CL90	Concentration létale 90
Cc	<i>Cymbopogon citratus</i>
DDT	Dichlorodiphenyl-Trichloroethane
FAO	Food and Agriculture Organization
GC/MS	Gas Chromatography/Mass Spectra
GTZ	Agence de Coopération Technique Allemande (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH)
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
Ob	<i>Ocimum basilicum</i> L.
Og	<i>Ocimum gratissimum</i> L.
ONG	Organisation Non Gouvernementale

PAN Africa	Pesticide Action Network Africa
PCBF	Programme Canadien des Bourses de la Francophonie
RNEB	Riz Non Étuvé Blanc
RNEP	Riz Non étuvé Paddy
REB	Riz Étuvé Blanc
REP	Riz Étuvé Paddy
RER	Riz Étuvé Rouge
REARB	Réseau Africain de Recherche sur les Bruches
UQAM	Université du Québec à Montréal

RÉSUMÉ GÉNÉRAL

Notre étude avait pour objectifs d'évaluer les effets de la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en Guinée et ceux des huiles essentielles extraites des feuilles d'*Ocimum basilicum* L. (Ob), d'*Ocimum gratissimum* L. (Og) et de *Cymbopogon citratus* Stapf (Cc) sur deux ravageurs importants (*Sitophilus oryzae* L. et *Tribolium castaneum* Herbst) fréquemment rencontrés ensembles dans les stocks de riz des régions chaudes et humides d'Afrique. Nos hypothèses de recherche s'appuyaient sur le fait que ces techniques pourraient empêcher le développement de ces ravageurs dans le système de stockage. Pour vérification des hypothèses, nous avons mesuré, dans cinq milieux alimentaires, la survie, le nombre de trous de ponte et le nombre d'adultes émergés survivants en fonction du temps dans le cas de l'étuvage. Les milieux alimentaires ont été préparés en collaboration avec la population paysanne. Dans le cas des huiles essentielles, les évaluations ont été effectuées sous la forme de poudre d'argile aromatisée appliquée dans les milieux alimentaires, sous la forme d'huile pure par fumigation pendant 6 jours et l'application des huiles à différentes concentrations dans les milieux alimentaires.

L'extraction des huiles essentielles a été effectuée par entraînement à la vapeur d'eau à partir des feuilles des trois plantes et le meilleur rendement moyen a été obtenu avec les feuilles d'Og. La poudre d'argile a été choisie parmi trois types, dont deux à l'état naturel (argiles rouge et blanche) et une purifiée. Ces trois argiles ont été soumises à des mesures de la conductivité, du pH et de la diffraction des rayons X pour l'identification des éléments minéraux. L'argile blanche naturelle a été retenue à cause de la stabilité de sa conductivité et de son pH d'une part et d'autre part, à cause de la grande quantité de smectite, support d'adsorption pour les molécules d'intérêt agronomique qu'elle contient et de son abondance dans le pays.

Dans le cas de la technique traditionnelle d'étuvage deux expériences ont été réalisées pour contrôler la survie et la dynamique des populations des insectes ravageurs dans les différents milieux alimentaires. Pour la première expérience, les milieux ont été infestés seulement par *S. oryzae*. Les deux ravageurs (*S. oryzae* et *T. castaneum*) ont été associés pour la deuxième expérience. Les résultats ont mis en évidence l'effet de l'étuvage sur la survie, sur la ponte et sur l'émergence des adultes de *S. oryzae* sur une période d'au moins trois mois. Le nombre d'adultes survivants et le nombre de trous de ponte étaient significativement réduits dans les riz étuvés que dans les autres milieux alimentaires pour les deux expériences. Le dénombrement mensuel des adultes survivants a montré également une réduction significative des adultes dans les riz étuvés. Avec *T. castaneum*, l'effet de l'étuvage a été marqué par un ralentissement du cycle de développement des larves qui sont restées tout le temps de l'expérience au premier stade.

Pour ce qui concerne l'évaluation des poudres d'argile aromatisées avec les huiles essentielles, deux expériences ont été aussi réalisées. Pour la première expérience, les milieux alimentaires ont été d'abord infestés par les insectes puis conservés pendant 15 jours avant l'ajout des poudres aromatisées. Pour la seconde expérience, les milieux alimentaires ont été

mélangés aux poudres puis, infestés immédiatement par les insectes. Les résultats ont montré des effets insecticides variant en fonction des milieux alimentaires, des expériences, de la nature des huiles essentielles et les espèces d'insectes. Pour l'expérience 1, les poudres d'Og et d'Ob ont réduit significativement le nombre d'adultes de *S. oryzae* dans les milieux. Les nombres moyens d'adultes (82,93) et (97,66) obtenus après trois mois étaient les plus petits nombres significatifs par rapport à celui du témoin riz avec argile (123,2) et celui de Cc (118,16) non différents puis, de celui du riz seul (154,73) différent des deux derniers. Quant à l'expérience 2, toutes les trois huiles avaient réduit considérablement le nombre d'adultes émergés. Les nombres moyens étaient 7,26 pour Cc, 5,03 pour Ob et 2,13 pour Og dans le milieu RNEB. Dans le cas des milieux RNEP, REB, les huiles ont inhibé totalement la survie et la prolifération de *S. oryzae*. Ceci met en évidence dans les deux expériences, l'effet combiné de l'argile et des huiles essentielles. Des fluctuations observées avec les paddy pourraient être attribuées soit à l'effet des huiles essentielles soit à la capacité des insectes de se cacher dans les grains ce qui rendait leur dénombrement difficile. Un ralentissement du cycle de développement a été constaté chez *T. castaneum* sous l'effet des poudres avec la présence d'un grand nombre de larves de premier stade également. *S. oryzae* a été plus sensible aux poudres aromatisées que *T. castaneum* et la méthode utilisée pour l'expérience 2 a été la plus efficace.

Avec la fumigation, deux expériences ont été aussi réalisées. La première a porté sur les volumes de 10 à 100 µl et la deuxième, de 2 à 100 µl. Les huiles ont montré des activités insecticides en fonction de leur nature, des volumes utilisées et du temps d'exposition. Les huiles d'Ob et de Og, avaient peu d'effet durant les 3 premiers jours d'exposition pour les volumes de 2 à 80 µl. C'est à partir du jour 4 que les effets étaient manifestes. Les CL₅₀ et CL₉₀ obtenues pour l'huile d'Ob, du jour 4 au jour 6 variaient respectivement de 71,42 à 5,93 µl/insecte pour *S. oryzae*. Avec Og, elles variaient de 26,58 à 7,59 µl/insecte pour *S. oryzae* et de 35,11 à 8,73 µl/insecte pour *T. castaneum*, *S. oryzae* a été plus sensible aux effets d'Ob et d'Og alors que l'huile de Cc n'a pas manifesté d'effet insecticide. L'huile d'Og pourrait ainsi être retenue comme la plus toxique à cause de ses effets sur les deux ravageurs et des faibles valeurs de CL₅₀ et de CL₉₀ obtenues.

Enfin, les huiles essentielles ont été appliquées directement dans les milieux alimentaires en deux expériences. La première expérience concernait l'évaluation des effets des volumes de 1 à 5 µl et la deuxième ceux des volumes de 10 à 50 µl. Les résultats de l'expérience 1 ont montré une diminution graduelle du nombre d'adultes survivants de *S. oryzae* en fonction des volumes, des milieux ainsi qu'une réduction de leur survie dans les riz étuvés. Ceci indique les effets de l'étuvage et des huiles essentielles. L'huile de Cc a été moins active par rapport aux autres huiles. Les résultats similaires ont été observés chez *T. castaneum*. Dans le cas de l'expérience 2, aucun adulte survivant n'a été dénombré sauf dans les milieux témoins. Ceci met en évidence l'efficacité des trois huiles dans les grains dans le contexte de ces deux expériences.

En général, les hypothèses ont été toutes confirmées. Nos travaux ont permis d'obtenir de nouvelles informations dans des domaines ayant peu de publications scientifiques et permettraient de valider les techniques traditionnelles étudiées comme outil de lutte écologiquement et économiquement viables pour la protection des denrées en post-récolte particulièrement le riz. Elles pourraient éventuellement servir de bases pour la sensibilisation des populations paysannes. La technique traditionnelle d'étuvage et l'utilisation des huiles essentielles pourraient conduire à l'amélioration de la sécurité alimentaire dans les pays en développement. Le défi est de répandre cette approche traditionnelle et durable parmi les paysans.

Mots Clés :

Riz étuvé, *Sitophilus oryzae*, *Tribolium castaneum*, Biopesticide, Huile essentielle, *Ocimum basilicum*, *Ocimum gratissimum*, *Cymbopogon citratus*, Argile, Fumigation.

CHAPITRE I

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ce chapitre présente les problèmes liés à l'infestation des grains particulièrement le riz en post-récolte et les méthodes de traitement. Il présente en plus une revue de la littérature sur l'utilisation des huiles essentielles et la technique d'étuvage concernant notre sujet de recherche, nos objectifs, les méthodes et les démarches adoptées pour vérifier nos hypothèses ainsi que la structure du document. Il donne enfin une description sommaire de la zone d'étude, du riz, des insectes et plantes étudiés.

1.1 Problèmes liés à la conservation des grains en post-récolte

Les denrées alimentaires sont habituellement attaquées par les insectes au cours de leur entreposage depuis le début de la civilisation humaine. Les paysans pratiquaient des techniques traditionnelles en ajoutant aux denrées les produits locaux tels que les minéraux, les huiles, les feuilles ou extraits de plante pour leur protection contre les infestations multiples depuis des siècles (Regnault-Roger *et al.*, 2008; Philogène *et al.*, 2008; Vincent *et al.*, 2000; Vincent *et al.*, 2003; Foua-Bi, 1993). D'après ces auteurs, les produits végétaux à action phytosanitaire ont une très longue histoire et les techniques, traditionnellement bien établies, ont apporté leur preuve d'efficacité dans plusieurs pays africains. Ces pratiques ont été abandonnées au profit des méthodes modernes à cause des nombreux changements subits par l'agriculture au cours des dernières décennies (Thiam et Ducommun, 1993; FAO, 1990). Malgré les moyens dont dispose la science, les insectes continuent encore à peser lourdement au bilan des pertes.

Les pertes les plus importantes sont infligées par différentes espèces de coléoptères, lépidoptères et acariens (Alzouma *et al.*, 1994; Fleurat-Lessard, 1994). Parmi les coléoptères, la calandre du riz (*Sitophilus oryzae* L.) (Coleoptera : Curculionidae) est universellement reconnue comme l'un des plus dévastateurs des céréales entreposées, non seulement en raison de sa propre consommation, mais aussi parce qu'elle ouvre en plus la porte à tout un ensemble de détritivores dont le plus fréquent est le Tribolium rouge de la farine (*Tribolium castaneum* Herbst) (Coleoptera : Tenebrionidae) qui parachève les dégâts (Markham *et al.*, 1994; Throne, 1994).

En Europe occidentale et en Amérique du Nord où les techniques antiparasitaires perfectionnées sont mises en place, les insectes détruisent encore annuellement pour plus de 3 milliards de dollars de denrées agricoles ou forestières (Thomas, 1999). Au Canada par

exemple, les pertes que subissent les productions de céréales varient entre 35 à 45% (Agriculture Canada, 1999- 2001).

Dans les pays en développement, surtout dans les pays à zone climatique dite guinéenne, les estimations varient de 30 à 50% des récoltes (Helbig, 1995; Foua-Bi, 1992; Alzouma, 1990; Hall, 1970). Autrement dit, le tiers ou la moitié de ce qui est produit ne parvient jamais aux consommateurs et le travail et l'argent investis sont irrémédiablement perdus (Weidner et Rack., 1984; Wheathey, 1973; Scotn, 1973).

Les moyens de protection les plus efficaces sont les pesticides chimiques (Relinger *et al.*, 1988; Haubruge *et al.*, 1988; Hall, 1970). Pour la protection des stocks vivriers et les semences, les pesticides fréquemment utilisés sont les organophosphorés, les pyréthroides de synthèse et des produits composés à partir des matières actives appartenant aux deux familles (Gwinner *et al.*, 1996). D'après Isman (2006), plusieurs pays en développement ont encore recours à l'insecticide DDT et autres polluants organiques persistants (POP). Les gouvernements même offrent des subventions aux agriculteurs pour acheter les pesticides. D'après la FAO (2001), environ 30% des produits commercialisés particulièrement dans les pays d'Afrique subsaharienne ne répondent pas aux normes de qualité internationale à cause du manque de moyen de contrôle efficace. Ceci provoque non seulement des problèmes de résistance chez les insectes ravageurs mais, entraînerait aussi des effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine. Les insecticides posent en outre, des problèmes de disponibilité, de stockage et de coût.

Selon Isman (2006) et le PAN Africa (2003), les produits chimiques sont utilisés d'une façon abusive et impropre dans la plupart des pays africains. Les paysans détournent souvent des pesticides à des usages autres que ceux pour lesquels ils étaient destinés et utilisent les pesticides toxiques sans mesures de protection adéquates à cause des taux d'analphabétisme élevés. Le plus souvent, les pesticides en poudre sont utilisés en les versant sur des tas de grains déposés au sol pour les mélanger à l'aide d'un bâton ou d'une pelle sans matériel de protection adéquat (Traoré et Kalivogui, 1995). Selon les auteurs, les produits peuvent être

aussi saupoudrés couche après couche à l'aide d'un sac en plastique perforé. Ces pesticides de longue persistance assurent la protection des semences depuis les magasins de stockage jusque dans les champs après les semis ainsi que des jeunes plantules contre les insectes et les maladies.

L'environnement (sol, air, eau) se trouve ainsi exposé à la contamination par les pesticides à toutes les périodes de production, de mélange ou d'applications des produits, de transport et de semence des grains. Les pesticides peuvent être transportés soit par le vent au cours du traitement, soit par les grains traités après les semis dans les champs, soit par le biais du système d'égouts et par les ruissellements en provenance des champs et des lieux de traitement pour se retrouver dans les étendues d'eau où ils auront la possibilité de pénétrer dans la chaîne alimentaire (Thiam et Ducommun, 1993).

Les travailleurs, principalement les femmes et les enfants, les animaux domestiques et tous les autres êtres vivants dans ces zones agricoles sont ainsi exposés aux contaminations soit par l'air qu'ils respirent, soit par l'eau qu'ils boivent ou la nourriture qu'ils consomment. Dans les champs agricoles, les oiseaux pollinisateurs et granivores peuvent absorber les pesticides par leurs pattes ou par leur peau, les inhaler ou les ingérer avec les grains ou avec les insectes contaminés. La présence de résidus élevés de pesticides dans les denrées alimentaires n'est également pas exclue dans les structures de stockage.

Plusieurs auteurs (Carlos, 2006, Isman, 2006; Farr *et al.*, 2004, FAO, 2001; OMS, 1991) ont associé les pesticides à des problèmes de santé et d'environnement. D'après eux, les pesticides chimiques sont, de par leur nature, des produits dangereux et toxiques même à très faibles doses. Isman (2006) affirme qu'un nombre important de travailleurs dans les pays tropicaux et subtropicaux sont intoxiqués ou tués chaque année par des pesticides toxiques à effets aigus dont ils ignorent le mode d'emploi. Le PAN Africa (2003) a rapporté aussi que près de 750 000 personnes de ces pays contractent chaque année une maladie chronique telle que les cancers, les maladies du foie et des reins, suite à une exposition prolongée à des

pesticides. Il rapporte aussi que plus de 20 000 décès et 3 millions d'empoisonnement annuellement en Afrique sont liés aux pesticides.

De nombreux auteurs ont affirmé que l'utilisation inconsidérée des pesticides chimiques a eu d'autres conséquences néfastes, notamment la réduction de la biodiversité, la destruction d'une grande partie des organismes utiles tels que les organismes décomposeurs qui participent à la construction de l'humus et aux cycles biogéochimiques ainsi que de nombreux prédateurs des parasites. Aussi, le nombre des espèces d'insectes nuisibles devenues résistantes aux pesticides a augmenté significativement dans le monde et des pêcheries commerciales ont été également décimées dans plusieurs pays (Glitho *et al.*, 2008; Dauguet *et al.*, 2006; Provost *et al.*, 2003; Panisset *et al.*, 2003; Wania *et al.*, 1999; Gilliom *et al.*, 1999; Gwinner *et al.*, 1996; Mullié et Keith, 1993; Greathead, 1992).

Cet état de choses constitue aujourd'hui une grande préoccupation dans les pays industrialisés. De nombreux pays, notamment ceux de l'Europe et de l'Amérique comme le Canada ont instauré une réglementation stricte vis-à-vis des pesticides afin de limiter leur utilisation. Ceci a entraîné le retrait de nombreux polluants organiques persistants (POP) du secteur de la production alimentaire. Malheureusement, ce n'est pas le cas dans les pays en développement où la réglementation se trouve encore au stade embryonnaire ou inexistante. Cette utilisation incontrôlée des POP est sur le point d'accroître la fréquence des pénuries alimentaires. Or, la pénurie de denrées alimentaires empêche non seulement les ménages pauvres de produire et de conserver leur nourriture, mais elle les prive aussi des moyens de satisfaction d'autres besoins.

La lutte contre les insectes devient donc une nécessité économique impérieuse pour tous les pays, quel que soit leur degré d'évolution scientifique. D'après Regnault-Roger *et al.* (2008), Glitho *et al.* (2008), Arnason *et al.* (2008), Chiasson *et al.* (2008), Isman (2006), Vincent *et al.* (2007), Vincent *et al.* (2000), Thiam et Ducommun (1993), les moyens naturels de contrôle constituent des éléments importants de nos systèmes de production. Nous devons continuer à les chercher pour les diffuser surtout auprès des paysans. Selon ces auteurs, les

pays en développement représentent les débouchés les plus prometteurs pour les insecticides d'origine végétale.

De nos jours, de nombreuses recherches sont orientées vers ces moyens naturels. De ce fait, les méthodes traditionnelles doivent être encouragées par la recherche chez les petits exploitants afin de les aider à protéger la biodiversité, leurs récoltes et de sauvegarder leur pouvoir d'achat. C'est dans cette optique que nous avons proposé d'évaluer quelques techniques traditionnelles afin de valider des solutions alternatives à l'utilisation des pesticides dans les stockages céréaliers. La présente étude avait pour objectifs :

1. d'évaluer l'effet de la technique traditionnelle d'étuvage pratiquée en Basse-Guinée sur la survie de deux ravageurs importants (*Sitophilus oryzae* L. et *Tribolium castaneum* Herbst) fréquemment rencontrés ensemble dans les stocks de riz des régions chaudes et humides d'Afrique. L'hypothèse est que le riz étuvé pourrait empêcher le développement des ravageurs dans les grains de riz en stockage.
2. d'évaluer les effets de trois huiles essentielles, à savoir l'huile d'*Ocimum basilicum* L., d'*Ocimum gratissimum* L. et de *Cymbopogon citratus* Stapf (Cc) sous forme de poudre d'argile aromatisée et sous forme pure par fumigation et directement dans les grains sur *S. oryzae* et *T. castaneum*. L'hypothèse est que ces huiles pourraient avoir un effet insecticide, répulsif ou antiappétant sur les ravageurs ciblés dans les stocks de riz.

Pour vérifier ces hypothèses, la démarche effectuée était basée sur les bioessais à l'UQAM, les travaux de terrain en Guinée, le traitement des données obtenues et la rédaction de la thèse à l'UQAM. Les milieux alimentaires utilisés ont été préparés en collaboration avec les paysans guinéens ainsi que la collecte des échantillons de feuilles. Les expériences de laboratoire ont été effectuées en Guinée afin de créer des situations expérimentales analogues à celles utilisées par les paysans tout en respectant les paramètres environnementaux et les conditions de développement des insectes. Elles ont été effectuées suivant les critères scientifiques de pertinence, de fiabilité des résultats et de reproductibilité (effectifs, témoins, répétitions, analyses statistiques). Des associations de méthodes

traditionnelles ont été réalisées (poudre d'argile associée aux huiles essentielles, riz étuvé associé aux huiles essentielles) pour vérifier leur efficacité.

La thèse comporte deux parties principales. La première partie traite les généralités et constitue le premier chapitre. La seconde partie concerne les travaux expérimentaux et comporte quatre chapitres constituant chacun un article. Le premier article ou chapitre II concerne les travaux sur l'étuvage traditionnel. Les trois autres articles ou chapitres concernent les huiles essentielles appliquées sous forme de poudre d'argile aromatisée 2^{ème} article ou chapitre III, sous forme pure à différentes concentrations par fumigation 3^{ème} article ou chapitre IV, et directement dans les grains 4^{ème} article ou chapitre V. Le premier article et le deuxième article seront soumis au Journal of Stored Product Research. Le troisième article sera soumis au journal Phytoprotection et le quatrième au journal Cahiers Agricultures.

Les planches annexées à la fin de cette thèse illustrent l'ensemble des opérations reliées à nos travaux sur le terrain. Le lecteur pourra s'y référer au fur et à mesure de la progression de sa lecture. La revue de la littérature qui suit nous a permis de mettre en évidence ce qui a été fait sur le plan scientifique concernant l'étuvage traditionnel et les huiles essentielles. La restriction de cette recherche bibliographique au thème central de la thèse est due au fait que la question de lutte biologique a été publiée de façon exhaustive dans plusieurs auteurs comme Vincent et Panneton (2001); Borgemeister *et al.* (1997); Markham *et al.* (1994); Vincent et Coderre (1992); Cloutier (1992); Boye *et al.* (1988); Haines (1981) etc. En plus, nous avons effectué une intéressante recherche bibliographique sur les organismes génétiquement modifiés (OGM) en phytoprotection dans le cadre du cours de synthèse environnementale ENV 9402; Rapport présenté comme exigence partielle du doctorat en science de l'environnement à l'UQAM (Camara, 2005).

1.2 Revue de la littérature sur l'utilisation des huiles essentielles végétales contre les insectes ravageurs des denrées en stockage

L'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les insectes remonte aux anciennes civilisations, tout d'abord en Orient et au Moyen Orient, et par la suite au nord de l'Afrique et en Europe (Thiam et Ducommun, 1993; Franchomme *et al.*, 1990). Les extraits des plantes sont utilisés en Inde depuis plus de 7000 ans, en Chine depuis 4500 ans, en Égypte entre 3000 et 2000 ans avant notre ère. Aujourd'hui encore plusieurs paysans utilisent leurs connaissances et leur savoir-faire dans ce domaine (Regnault-Roger *et al.*, 2008). Plusieurs auteurs, comme Vincent *et al.* (2000), Ntezurubanza (2000), Isman (2000), Regnault -Roger *et al.* (1993), Thiam et Ducommun (1993), Rodgers (1993), Anonyme (1981), la GTZ (1980), rapportent qu'un nombre important d'espèces de plantes riches en huiles essentielles est utilisé comme moyens traditionnels de protection des stocks. Les paysans les utilisent à l'état naturel, pulvérisent, en phase aqueuse ou huileuse, en infusion, en décoction, en solution et même sous forme de cendre, d'aérosol ou fumée, afin de mettre à profit les activités insecticide, répulsive ou antiappétante vis-à-vis des insectes.

L'huile essentielle est définie dans le contexte de la certification Swisseo (2005) comme l'extrait naturel de plantes ou d'arbres aromatiques obtenu par distillation à la vapeur d'eau. Autrement dit l'huile essentielle est l'essence distillée, l'essence étant la sécrétion naturelle élaborée au sein des organes producteurs des plantes aromatiques. Chimiquement, une huile essentielle est constituée exclusivement de molécules aromatiques à condition que sa pureté soit totale et qu'elle ait été distillée convenablement (Swisseo, 2005).

De nombreux chercheurs, qui sont à la recherche des insecticides efficaces, peu rémanents, respectueux de la santé humaine et de l'environnement, se sont penchés sur l'utilisation des plantes aromatiques. Ainsi, de nombreux travaux ont été réalisés dans ce sens pour le contrôle des ravageurs du maïs et du niébé, notamment en zone tropicale. D'après Isman (2000) et Kéita (1999), plus de 1000 plantes recensées aujourd'hui ont des propriétés

variant de la dissuasion à la répulsion avec association de l'antiappétence ou la létalité contre les ennemis des cultures et des stocks. Mais l'évaluation scientifique de l'efficacité de ces substances dans les situations réelles dans les stocks n'a que rarement été démontrée. D'après notre recherche bibliographique et en accord avec Léonard (2004), peu d'articles traitant de l'efficacité des huiles essentielles dans la protection des grains au cours du stockage ont été publiés avant la décennie 90. Les premiers articles ont été répertoriés entre 1991 et 1995. Aujourd'hui, l'utilisation des huiles essentielles comme insecticide est devenue une piste d'avenir à intérêt scientifique important.

L'une des plantes qui a fait l'objet d'un nombre important d'études scientifiques est le neem (*Azadirachta indica* A. Juss). C'est l'une des principales sources d'insecticides botaniques de nos jours. Sharma *et al.* (1992) ont affirmé que la dose létale CL_{50} aiguë de l'huile de neem est de 39,9 ml/kg pour les poulets. Schafer et Jacobson (1993) ont démontré aussi que la toxicité orale aiguë (CL_{50}) du neem est >1000 ml/kg pour les oiseaux sauvages (carouge à épauettes). Selon Isman (2006), Schmutterer *et al.* (2002), Isman (1998), Isman (1997a), Isman (1997b), Isman *et al.* (1996), Roger *et al.* (1995), Isman (1995), Casida et Quistad (1995), Schmutterer (1990), le neem joue un rôle de régulateur de croissance et de modificateur de comportement chez certaines espèces d'insectes nuisibles. Selon eux, les extraits du neem ont un large spectre d'activité, une dégradation facile dans l'environnement, une sélectivité élevée favorisant les ennemis naturels et les pollinisateurs. Ils ont démontré également que les extraits de bois et de graines du neem sont les principales sources des propriétés insecticides.

De nombreux chercheurs se sont également intéressés à l'évaluation des effets insecticides d'autres espèces de plantes médicinales utilisées par les paysans (Regnault-Roger *et al.*, 2008; Isman, 2006; Thiam et Ducommun, 1993). Au Togo par exemple, Ketoh *et al.* (1998) ont évalué les effets de plusieurs plantes sur *Callosobruchus maculatus* Fab.; Les plantes à toxicité élevée étaient *Cymbopogon shoenanthus* Camel. et *Lavandula* (sp) Swiss. Au Congo, Delobel et Malonga (1987) ont effectué des travaux d'évaluation de plusieurs

plantes contre *Caryedon serratus* Olivier. Les résultats ont montré une activité insecticide élevée de *Chenopodium ambrosioides* L.

Selon Glitho (2002), des programmes de recherche sur les insecticides naturels ont été initiés dans de nombreux pays tels que le Togo, le Bénin, le Burkina Faso, le Niger à la suite des Colloques internationaux du réseau Africain de recherche sur les Bruches (REARB). Ces programmes de recherche sur les huiles essentielles ont débouché sur de très nombreuses communications et publications scientifiques en Afrique, en Europe, en Amérique comme celles de (Glitho *et al.*, 1997; Seck *et al.*, 1996; Koumaglo *et al.*, 1996a; Koumaglo *et al.*, 1996b; Gakuru et Foua-Bi., 1995; Koumaglo *et al.*, 1994; Weaver *et al.*, 1994; Niber *et al.*, 1992; Sube *et al.*, 1991; Lale, 1991; Seck *et al.*, 1991; Iwuala *et al.*, 1981). Par exemple, Seck *et al.* (1996) ont mené des études dans des systèmes hermétiques de stockage et ont montré que l'utilisation des fruits des *Boscia senegalensis* Pers, à la dose de 1,2g/L réduit considérablement les émergences de *C. maculatus* F. Aux doses de 2,4 à 4,8g/l, l'émergence de la nouvelle génération de cette espèce est complètement inhibée.

Plusieurs plantes testées sur les Coléoptères du genre Bruchidae, ravageurs du maïs, du manioc et du haricot ont montré un effet insecticide et ovicide (Glitho *et al.*, 2008; Monge *et al.*, 1988). C'est le cas de l'effet des feuilles de *Boscia senegalensis* (Pers.) testées sur les adultes de *Bruchidius atrolineatus* (Pic.) et ceux de *Callosobruchus maculatus* (Fab.) par Alzouma et Boubacar (1987) au Niger. Au Congo, les effets similaires ont été notés aussi pour les feuilles de *Chenopodium ambrosioides*, de *Cymbopogon schoenanthus* et de *Lavandula* (*sp*) sur les Bruches surtout les adultes de *C. maculatus* par Delobel et Malonga, (1987). Les auteurs comme (Ketoh *et al.*, 2002; Békele et Hassanali 2001; Ketoh *et al.*, 1998; Baba-moussa *et al.*, 1997) ont également noté les mêmes effets pour *Ocimum kilimandscharicum* et *Ocimum kenyse* (Labiatae) sur les bruches au Bénin et au Togo.

Les études faites par Koumaglo *et al.* (1998) à l'Université du Bénin, ont montré que l'huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus* Camel. avait un effet toxique sur différents stades de développement de *C. maculatus* ainsi que sur la survie des adultes. À une dose de

10µl/L, le taux de mortalité est de 96% après 24h. Les auteurs ont observé également, une forte diminution de la ponte de la femelle et une inhibition du développement des œufs frais et des larves. Ils ont conclu que la plante possède des propriétés insecticides intéressantes contre *C. maculatus*.

Pierre (2004) a rapporté aussi que l'huile essentielle isolée d'*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. au Japon a un effet répulsif chez les moustiques. Selon l'auteur, l'huile d'*Acorus camalamus* Var. est également utilisée pour protéger le maïs contre *Prostephanus truncatus* Horn. De plus les vapeurs d'huile essentielle de *Seseli indicum* L. protègent les graines de pois contre les insectes ravageurs. Il a vaporisé 30 ml d'huile de *lemongrass* ou *Cymbopogon citratus* Stapf et d'*E. camaldulensis* sur 20 charançons placés séparément dans des boîtes de Pétri, il a obtenu 86, 95 et 83% de mortalité chez les charançons. Cinq millilitres de citronnelle ont provoqué la mortalité de 100% des charançons après 30 minutes de contact, alors qu'il faut 40 ml de *lemongrass* et d'*E. camaldulensis* pour le même résultat. Ces travaux ont montré que les huiles essentielles de ces plantes sont biologiquement actives contre les termites et les charançons par contact direct ou par vaporisation, à l'échelle du laboratoire et sur le terrain (dans le cas des termites).

Ogendo *et al.* (2004) ont fait des évaluations des propriétés de la poudre de *Lantana camara* L. et *Tephrosia vogelii* Hook f. comparées à celles d'un insecticide synthétique (Actellic SuperTM 2% en poudre) sur *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) sur du maïs stocké en grains avec un témoin. L'efficacité des traitements a été évaluée en mesurant la mortalité des adultes âgés de 5 à 8 jours, l'émergence de la descendance des F₁ et l'effet répulsif sur les adultes. Les poudres entraînaient une réduction de plus de 75% de la descendance en F₁ par rapport au témoin non traité et *Tephrosia vogelii* Hemsley semblait être le plus répulsif contre *S. zeamais*.

Ces travaux ont contribué à la compréhension des activités insecticide, répulsive, antiappétante de certaines substances végétales vis-à-vis des insectes (Foua-Bi, 1992; Caswell, 1968). Ils ont permis également aux chercheurs, d'orienter les travaux sur la recherche des métabolites responsables de ces actions insecticides afin de les identifier, les

isoler et les doser pour enfin, s'intéresser à leur formulation. C'est ainsi qu'il a été démontré que l'extrait du neem constitue un mélange de plus de 100 composés qui sont responsables de la mortalité des insectes testés (Addea-Mensah, 1998; Mordue et Blackwell, 1993; Zongo *et al.*, 1993).

Gauvin *et al.* (2003) ont montré que l'*azadirachtine* ($C_{35}H_{14}O_{16}$) était la principale composante à propriétés insecticides des extraits de neem. Une approche alternative a été proposée par l'utilisation de bioessais permettant de déterminer ce pouvoir insecticide par une analyse chimique de haute technicité.

Selon Schmutterer (1990), plusieurs autres composés, probablement des limonoïdes sont aussi capables de causer des mortalités chez les insectes nuisibles. Les travaux de Arnason *et al.* (1992) effectués sur les extraits d'écorce, de fruit, des feuilles des genres *Swietenia*, *Cedrela*, *Trichilia* et *Guarea* contre la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis* (Hübner) et le vers gris, *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith., ont montré des effets insecticides et de régulateurs de croissance, les extraits d'écorce étant les plus actifs. Ils ont montré également, la présence de plusieurs autres composés responsables de ces activités tels que les limonoïdes. Selon Garneau (2001), les terpènes et les phénypropanes, principaux constituant des huiles essentielles, sont aussi responsables des activités insecticides.

Plusieurs travaux portant sur l'analyse chimique des substances végétales ont montré aussi la présence des monoterpènes qui inhibent le cholinestérase et les composés soufrés qui agissent sur les canaux potassium de certains insectes comme la blatte. Tapondjou *et al.* (2000) ont affirmé aussi que *Chenopodium ambrosioides* L. et *Eucalyptus saligna* Smith ont des propriétés entomotoxiques. Ce sont des plantes dont les branches et les feuilles fraîches sont couramment utilisées pour protéger les grains de maïs, *Zea mays* L., les graines de haricot, *Phaseolus vulgaris* L. et de niébé, *Vigna unguiculata* L. Walp. contre les attaques de divers insectes de stocks (Tapondjou *et al.*, 2000). L'évaluation scientifique des effets insecticides des poudres et des huiles essentielles des feuilles sèches vis-à-vis des insectes a montré qu'elles ont un large spectre d'action contre les insectes, les nématodes, les champignons et les virus (Quarles, 1992).

D'après Delobel et Malonga (1987) et Malik *et al.* (1984), les poudres de feuilles sèches de *C. ambrosioides* mélangées aux grains d'arachide et de haricot en stockage protégeraient ces denrées contre les attaques d'insectes tels que *Rhyzopertha dominica* F., *Caryedo serratus* Ol. et *Acanthoscelides obtectus* Say. (Su, 1991). La caractérisation chimique des huiles essentielles a montré la présence d'une forte teneur en α -terpinène (37,6 %) et une faible teneur en ascaridole (3,5 %). Certains auteurs ont montré que la forte toxicité de cette huile peut être ainsi attribuée à l'ascaridole qui en constitue généralement 45 à 75 %. Or, l'ascaridole provient du α -terpinène par biotransformation enzymatique au sein de cette plante (Johnson, 1984). Ceci laisse supposer que la forte toxicité de l'huile peut être due uniquement à l'ascaridole, mais aussi à d'autres constituants majoritaires comme le cymol ou l' α -terpinène.

Les travaux de Su (1991) ont montré que la concentration maximale de 2 000 ppm (2 g/kg) d'huile essentielle de *C. ambrosioides* peut être utilisée pour la protection des denrées alimentaires en stockage. Pour l'huile essentielle des feuilles d'*E. saligna*, dont l'activité insecticide a déjà été mise en évidence à l'égard de plusieurs insectes des denrées stockées comme *Tribolium confusum* Jacquelin Du Val. et *C. maculatus*, il a été démontré que son principal constituant est le α -pinène (39,5 %), ce qui justifie son activité insecticide contre les ravageurs (Ojimelukwe et Adler, 1999). Des effets similaires ont été également notés avec le α -terpinéol, le 1,8-cinéole et le limonène (Prates *et al.*, 1998; Obeng-Ofori *et al.*, 1997). Les auteurs ont conclu que les poudres et huiles essentielles de *E. saligna* et *C. ambrosioides* ont des propriétés insecticides et répulsives contre *C. maculatus* et que les huiles de *C. ambrosioides* sont plus actives que celles d'*E. saligna*, ce qui justifie leur utilisation par les paysans dans la pharmacopée (Chiasson *et al.*, 2004a; Chiasson *et al.*, 2004b; Chiasson *et al.*, 2001; Quarles, 1992; Raponda-Walker et Sillans, 1985).

D'après Jilani et Su, (1983), l'extrait du rhizome de Safran des Indes réduit la production de progéniture de *Tribolium castaneum* Herbst. Selon Patro et Pati (1997), Pati *et al.* (1996) et Jilani *et al.* (1988), il a une activité répulsive pour *T. castaneum*. Pour Morallo-Rejesus *et al.* (1992), il a été rapporté comme insecticide contre *Xylostella plutea* L.

La poudre aussi a été utilisée dans les grains stockés contre *T. castaneum* par Chander *et al.* (1992) et Parveen et Mondal (1992), contre *S. oryzae* L. et *R. dominica* F. (Jilani et Su, 1983). En plus, Chander *et al.* (1991) et Saju *et al.* (1998) ont rapporté que les huiles essentielles du Safran des Indes possèdent des activités antifongiques, anti-bactériennes et répulsives pour les insectes.

Les analyses chimiques montrent que l'huile des feuilles de Safran des Indes contient 82,9 % de monoterpène et seulement 16,3% dans le rhizome. Le monoterpène a des activités insecticides et répulsives contre les insectes des denrées stockées (Tripathi *et al.*, 2001; Obeng-Ofori et Reichmuth, 1997; McCarron *et al.*, 1995; Tsao *et al.*, 1995). Bélanger et Dextraze (1998) ont fait l'étude de la composition chimique des huiles essentielles de plantes aromatiques du Burkina Faso utilisées dans la protection des stocks au Centre d'Agriculture et agro-alimentaire Canada, à Saint-Jean-sur Richelieu, au laboratoire de chimie organique appliquée de l' Université de Ouagadougou, Burkina Faso et au laboratoire d'analyse et de séparation des essences végétales de l'Université du Québec à Chicoutimi, Canada. D'après ces auteurs, l'huile essentielle d'*Hyptis suaveolens* L. contient une majorité de monoterpènes soit 75%, dont 36% de sabinène, 5,4% de β -pinène, 4,9% de limonène et des sesquiterpènes 25% dont 17% de β -caryophyllène. *L'Hyptis spicigera* L. contient en majorité de l' α -pinène (43%), du β -pinène (15%) et de l' α -phellandrène (9%) comme monoterpène et des sesquiterpènes (8%) dont ceux de β -caryophyllène (6,5%).

L'*Ocimum basilicum* se caractérise par une teneur élevée en eucalyptol ou cinéole-1,8 (61%), les autres constituants majoritaires étant le β -pinène (5,7%), l' α -terpinéol (6%) et le β -caryophyllène 2%. En comparant les rendements des espèces, les auteurs ont trouvé que *Hyptis suaveolens* L. et *Hyptis spicigera* Lam. donnent un même rendement (calculés par rapport au poids de matière séchée) qui est faible, respectivement 0,55 et 0,52%, par rapport à *Ocimum basilicum* L. qui a un fort parfum, et dont le rendement est 1,5%. Les rendements les plus faibles, soit 0,2%, étaient les mêmes pour *Triumfetta rhomboedae* Jacq. et *Blumea aurita* L.f.

Dans le même cadre de recherche des insecticides d'origine végétale comme méthode alternative de remplacement des insecticides chimiques, les composés volatils des *Allium* ont été évalués sur certains insectes des denrées stockées comme *C. maculatus*, *S. oryzae*, *S. granarius*, *Ephestia kuehniella* et *Plodia interpunctella*, *T. astaneum* et *S. zeamais* (Ho *et al.*, 1996). Les résultats ont montré que les composés soufrés sont toxiques en milieu clos et des cas d'effets antiappétants ont été observés, outre les effets toxiques.

Selon Nasseh (1981), les extraits d'ail perturbent la prise alimentaire du coléoptère *Epilachna varivestis* Mulsant. D'après Lundgren (1975), le comportement de ponte chez deux lépidoptères, *Pieris brassicae* L. et *P. napi* L., est inhibé. Ces mêmes extraits d'oignon réduisent aussi le taux de ponte des femelles de Psylle du poirier, *Cocopsylla pyricola* Forster (Weissling *et al.*, 1997). Des extraits d'ail et d'oignon perturbent également l'établissement du puceron *Myzus persicae* Sulzer sur sa plante hôte et empêchent l'alimentation de l'insecte, entraînant sa mort (Hori, 1996). Selon Gurusubramanian et Krishna (1996) et Bekkaoui et Thibout (1992), une mortalité larvaire plus importante peut être obtenue chez certaines espèces comme *Diadromus pulchellus* (Hymenoptera: Ichneumonidae).

Chiasson *et al.* (2004) ont effectué des bioessais exploratoires avec les larves de moustiques et plusieurs plantes ont été retenues soit *Tanacetum vulgare* L., *Artemisia absinthium* L., *Chenopodium ambrosioides* L., *Amorpha fruticosa* L. Après 48 heures de traitement sur *Tetranychus urticae* Koch., les extraits ayant 4% d'huile d'*A. absinthium* causaient 52,7, 51,1 et 83,2% de mortalité des adultes pour les extraits de micro ondes par distillation à la vapeur d'eau et par distillation à vapeur. Après une période d'activité de recherche, les chercheurs ont préparé une émulsion pour application foliaire ayant des effets acaricides, efficace contre le Tétranyque à points, *T. urticae* et le Tétranyque rouge du pommier, *Panonychus ulmi* Koch (Chiasson *et al.*, 2004a) et les effets insecticides contre le puceron vert (*Myzus persicae* Sulz.), l'aleurode des serres (*Trialeurodes vaporariorum* West.), le thrips du petit fruit (*Frankliniella occidentalis* Pergande) (Chiasson *et al.*, 2004b).

Kéita *et al.* (2001a, b) et Kéita *et al.* (2000a, b), ont effectué des travaux sur l'évaluation des effets insecticides et l'analyse des composés chimiques de *Thuja occidentalis* L. d'*Ocimum basilicum* L., d'*O. gratissimum* L., et d'*O. suave* L. L'huile de *Thuja occidentalis* L. a été analysée par chromatographie en phase gazeuse et les résultats obtenus ont montré la présence de 22 composés, dont les principaux étaient : α -thujone (49,64%), fenchone (14,06%) et β -thujone (8,98%). Pour les huiles d'*Ocimum basilicum*, d'*O. gratissimum* L., et d'*O. suave* L. les analyses ont été effectuées par CG et CG/SM donnant les constituants suivants : linalol (69%), eugénol (10%), t- α -bergamotène (3%) et thymol (2%) pour *O. basilicum*; thymol (46%), p-cymène (12%) et γ -terpène + t-sabinène hydrate (17%) pour *O. gratissimum*; et p-cymène (59%), α -thujène (10%), myrcène (7%) et thymol (7%) pour *O. suave*. Les évaluations effectuées sur ces huiles par fumigation et avec la poudre de kaolin pure aromatisé appliquées sur les adultes et les œufs des bruches du niébé ont montré des activités insecticides sur les mâles, les femelles et les œufs. Les auteurs ont conclu d'élargir les recherches sur les effets des huiles d'*O. basilicum* et *O. gratissimum* sur *S. oryzae* dans les grains entiers à cause de l'importance économique des dégâts causés par *S. oryzae* en Guinée, d'où l'ébauche d'une partie de notre travail.

Toutes ces informations ont contribué à faire comprendre que les effets insecticides des plantes dépendent de leur composition chimique et du niveau de sensibilité des insectes testés (Isman, 2002; Casida, 1990). Selon Garneau, (2001) et Garneau *et al.* (1996), chaque plante est un cas particulier qu'il faut regarder et analyser parce que la composition chimique des huiles essentielles des plantes varie en fonction des espèces de plante, en fonction des facteurs géographiques, climatiques, annuels ou saisonniers. Elle pourrait également varier d'un peuplement à l'autre et, à l'intérieur d'un même peuplement, d'un individu à l'autre.

De nos jours, les constituants de beaucoup d'huiles essentielles possédant des activités neurotoxiques pour les insectes sont connus (Sanon *et al.*, 2002). Mais, l'état actuel des connaissances sur le pouvoir insecticide des extraits de beaucoup d'autres plantes n'est pas suffisant pour estimer leur pouvoir insecticide dans les laboratoires et dans les champs. Bostanian *et al.* (2005) affirment que les substances doivent être toxiques pour les ravageurs

ciblés et en même temps avoir peu d'effets sur les agents biologiques tels que les prédateurs et les parasitoïdes. Ces critères importants doivent être satisfaits avant l'utilisation d'une préparation à l'échelle commerciale.

1.3 Perspectives de l'utilisation des huiles essentielles

Le laboratoire de chimie d'Agriculture et Agroalimentaire de Saint- Jean- sur- Richelieu, Canada, Qc, a développé plusieurs méthodes d'extraction et d'analyses des huiles essentielles : l'extraction à la vapeur, l'extraction avec la méthode assistée par micro-ondes MAP, l'analyse par chromatographie en phase gazeuse sur deux colonnes capillaires de polarités opposées, l'analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (Chiasson *et al.*, 2001), etc. Il a aussi élaboré un programme de recherche scientifique national sur les huiles essentielles comme insecticides botaniques. Ainsi, plusieurs chercheurs de ce centre ont publié sur les ingrédients actifs du neem (Gauvin *et al.*, 2003) et sur les méthodes d'extraction (Chiasson *et al.*, 2001; Larocque *et al.*, 1999).

Dans le domaine scientifique, beaucoup de progrès ont été réalisés sur les produits végétaux mais, le marché des insecticides d'origine végétale croît encore à un rythme lent (Arnason, *et al.*, 2008; Arnason *et al.*, 1992). D'après les auteurs, les barrières les plus importantes à la commercialisation de ces produits botaniques concernent leur efficacité et le coût de l'homologation. L'auteur ainsi que Cohen *et al.* (1996) affirment que l'écart entre les progrès en science fondamentale et l'utilisation des produits d'origine végétale s'explique par le fait que d'autres critères importants comme les effets potentiels sur la santé et sur l'environnement doivent être satisfaits. Isman (2006) Trumble (2002) et affirment que les éclairages scientifiques les plus rigoureux concernant les effets des produits d'origine végétale sur la santé et l'environnement sont nécessaires afin d'éviter les incertitudes et les risques.

En somme, les activités des produits méritent d'être étudiées plus profondément en présence de toutes les conditions naturelles sur le terrain avant l'utilisation d'une préparation à l'échelle commerciale. Il faut ajouter également, la disponibilité de la matière première. L'approche de Codena, une entreprise québécoise pour la fabrication de FACIN, constitue une option qui doit être renforcée dans le futur. FACIN est un produit obtenu par cette entreprise qui a prouvé son efficacité contre thrips, aleurodes, pucerons et Tetranyques qui sont des insectes les plus destructeurs des cultures en serre (Chiasson *et al.*, 2008). Après de nombreux essais, ce produit a démontré une faible toxicité contre les organismes non visés ainsi que pour l'environnement, ce qui a facilité son homologation à des fins de commercialisation aux États-Unis. Il agit comme acaricide, insecticide et fongicide sous forme de concentré émulsifiable en application foliaire et sous forme de microémulsion pour le traitement du sol.

Plusieurs fabricants de produits naturels de haut de gamme aux États-Unis exploitent souvent les plantes cultivées dans les pays en développement. Selon Arnason (2008), les perspectives pour les produits naturels dans les pays en développement sont élevées et un grand nombre de molécules d'origine végétale reste à découvrir étant donné que 65 % de la biodiversité végétale est d'origine tropicale. Les recherches et leur diffusion doivent être encouragées auprès des chercheurs et des paysans travaillant à la base (Regnault-Roger, 2008; Vincent *et al.*, 2007; Thiam et Ducommun, 1993).

1.4 Revue de la littérature sur l'utilisation de la technique traditionnelle d'étuvage du riz contre les insectes ravageurs des denrées en stockage

Le riz est la troisième céréale la plus cultivée dans le monde et la première dans les pays en développement. Plus de 80% de sa production mondiale est cultivée par les petits exploitants et est consommée à l'échelle locale (FAO, 2003). Le stockage rend possible sa disponibilité quasi permanente sur les marchés et la transformation se fait souvent de manière traditionnelle.

Cependant, c'est au cours de cet entreposage que des pertes importantes par les insectes ravageurs peuvent affecter les grains. Les pertes dues aux charançons seulement peuvent dépasser 25% de la récolte et même atteindre 40% (Helbig, 1995). De nombreux travaux ont été consacrés à l'évaluation des dégâts causés par les ravageurs dans les stocks de grains (Bekon et Fleurat-Lessard, 1989). D'après ces auteurs, la ration d'une seule adulte de *Sitophilus oryzae* L. par semaine en blé peut être égal à son propre poids, tandis que *R. dominica* qui partage souvent le même biotope consomme par semaine une quantité 5 à 6 fois supérieure à son poids.

Plusieurs auteurs (Lucas et Riudavets, 2000; Riudavets et Lucas, 2000; Haryadi et Fleurat-Lessard, 1994; Ryoo et Cho, 1992 et McGaughey, 1974), se sont intéressés à l'évaluation des dégâts de *S. oryzae* dans les différents types de riz et de l'effet du processus de polissage (perte du péricarpe avec le frottement des grains du riz du à l'action mécanique) ainsi que de la qualité nutritionnelle du riz. Selon Bhattacharya (1985), certaines variétés traditionnelles de riz sont moins vulnérables aux attaques par les insectes que les variétés à haut rendement. Juliano et Bechtel (1985) ont constaté une diminution des teneurs en vitamines, particulièrement en thiamine, durant la conservation du riz, mais une moindre destruction des vitamines B pendant la conservation du riz étuvé (Bhattacharya, 1985; Gariboldi, 1984).

Danho et Haubruge (2003) se sont intéressés au comportement de ponte et à la stratégie reproductive des ravageurs dans des grains en stock. Ils ont montré chez *Sitophilus zeamais* (Coleoptera : Curculionidae) que la quantité de grains n'a pas d'influence sur le nombre total des œufs ni sur le sexe-ratio. Par contre, ces auteurs ont noté une augmentation du poids des adultes par rapport à la densité des grains.

De nombreux autres chercheurs se sont intéressés aux méthodes de lutte et à l'intégration des méthodes traditionnelles de protection des denrées entreposées comme Fields *et al.* (2006), Vincent *et al.* (2003), Philogène *et al.* (2002), Camara (1997), Souaré (1996), Traoré et Kalivogui (1995), Helbig (1995), Fleurat-Lessard (1994), Foua-Bi (1993),

Delobel et Tran (1993), Fleurat-Lessard (1982). L'utilisation des extraits de plantes sur les ravageurs du haricot, du niébé et du maïs a donné des résultats satisfaisants dans plusieurs pays. Cependant, il existe à ce jour peu de données scientifiques dans la littérature sur les effets des méthodes traditionnelles de conservation du riz, notamment les techniques d'étuvage du riz. L'étuvage est une technique qui est souvent pratiquée dans plusieurs pays comme la Sierra Leone, le Bangladesh, le Sri Lanka, l'Inde, l'Italie, le Pakistan, la Thaïlande et les États-Unis mais, selon différentes techniques.

Du point de vue pratique, l'étuvage moderne du riz est réalisé par trempage du paddy suivi d'une élévation de température en autoclave, puis d'un séchage. Il a pour but de faire diffuser vers l'intérieur du grain de nombreux éléments nutritifs, minéraux et vitamines concentrés à la périphérie et en grande partie éliminés lors du blanchiment qui suit le décorticage (Bhattacharya, 1985 ; Juliano et Bechtel, 1985; Gariboldi, 1984). D'après les auteurs, le trempage et le chauffage à la vapeur provoquent une gélatinisation de l'amidon ; la texture du grain s'en trouve consolidée, le grain ne se brise pratiquement plus à l'usinage et résiste bien aux attaques d'insectes. Cependant, son inconvénient est de conférer au riz une couleur jaune et un goût particulier qui ne sont appréciés que dans certaines régions (Singh, 1980). Pour le cas de l'étuvage traditionnel, la technique consiste d'abord en une pré-cuisson du riz paddy préalablement hydraté, avant l'évaporation et séchage. En Guinée, l'étuvage est réalisé suivant trois techniques : la première consiste à faire tremper le riz dans de l'eau et le faire bouillir avant l'évaporation, la deuxième est le trempage à froid pendant plusieurs jours avant l'évaporation et la troisième consiste à évaporer les grains insuffisamment hydratés. L'étuvage effectué par la première technique est plus apprécié par la population à cause du goût et la qualité économique du riz.

En ce qui concerne l'évaluation scientifique de ces techniques de conservation, les quelques rares publications sont celles de Sudhakar et Pandey (1981), Singh (1980), McGaughey (1974), Pingale *et al.* (1957), qui ont travaillé sur les diverses variétés de riz pour des fins commerciales. L'objectif de ces travaux était d'obtenir des informations au sujet du développement de plusieurs espèces d'insectes des produits commercialisés,

particulièrement le riz. Le riz est un produit destiné à être transporté et stocké dans des pays à climats humides et chauds où la probabilité de l'infestation par les insectes est grande. Ainsi, leur étude a porté sur les effets dus à l'humidité et sur la teneur en grains cassés sur le développement des populations de sept insectes dans trois variétés de riz commercialisés.

Le test a été réalisé sur les échantillons de riz blanchi et étuvé de façon moderne, à grains entiers et à grains cassés puisque dans le commerce le riz contient pas moins de 35% de grains cassés. Les résultats ont montré que le riz étuvé était moins approprié que le riz blanchi cru pour le développement des ravageurs étudiés (*P. interpunctell* Hübner, *Cadra cautella* Walker, *Lasioderma serricornis*, *T. confusum*, *Rhyzopertha dominica* F., *S. oryzae* L. et *Oryzaephilus surinamensis* L.). Toutefois, une augmentation de l'humidité a facilité leur attaque à tous les ravageurs y compris *T. castaneum* et la présence des grains cassés n'a pas changé le nombre de progéniture durant les essais.

Les travaux réalisés en Guinée par Condé (2000) sur une variété locale (étude comparative de la valeur alimentaire du riz étuvé et non étuvé) ont montré que le riz étuvé renferme une bonne valeur alimentaire du point de vue des apports énergétiques, protéiques, lipidiques, cellulotiques et vitaminiques. Selon l'auteur, le riz étuvé conserve ses protéines et ses vitamines, se conserve bien et conserve également une bonne valeur gustative et marchande. Par contre, le riz non étuvé dans les conditions du climat guinéen perd presque toutes les vitamines du groupe B. Il a une teneur beaucoup plus faible en protéines et il est plus riche en glucides que le riz étuvé.

Eu égard à ces études, l'auteur a souligné la nécessité de généraliser l'étuvage du riz en Guinée, car la méthode permet une augmentation de la quantité et de la qualité nutritionnelles. Il a encouragé l'étuvage surtout dans les centres producteurs de riz (Kilissi, Boffa, Koba, Marela). Ces travaux nous ont ainsi incité à développer notre projet (évaluation de l'efficacité de la méthode face aux ravageurs). Notre objectif est de valider son utilisation par les paysans comme outil de lutte écologiquement et économiquement viable pour la protection des denrées en post-récolte.

1.5 Présentation de la Guinée

La République de Guinée est située au Sud-ouest de l'Afrique Occidentale avec une superficie de 245 857 km². Les coordonnées géographiques comprise entre 7° 05 et 12° 51 N et 7°30 et 15°10 O la situent à mi-chemin entre l'Équateur et le Tropique du Cancer. La Guinée partage des frontières avec la Guinée Bissau et le Sénégal au Nord-Ouest, le Mali au nord-est, le Libéria, la Sierra-Leone au Sud et au Sud-Est, la Côte d'Ivoire (Ministère des Travaux public et de l'Environnement, 2005). Selon Wikipédia (2008), la population guinéenne était estimée à 9 777 000 habitants en janvier 2007 dont 80% vivent en milieu rural. La densité de la population est de 40hab/km² et le taux de croissance était 2,37% en 2003. La diversité des conditions écologiques permet de diviser le territoire en quatre régions naturelles bien distinctes. Il s'agit de la Basse Guinée ou Guinée maritime, la Moyenne Guinée, la Haute Guinée et la Guinée forestière (Figure 1.1). Le contexte de cette étude se situe en Basse Guinée.

1.5.1 Présentation de la Basse Guinée

La Basse Guinée, ou Guinée Maritime, couvre 15% de la surface totale du pays (36 200km²) et comprend une zone côtière marécageuse derrière laquelle s'étend une plaine s'élevant lentement jusqu'au pied des collines du Fouta Djallon. Sa densité de population est estimée à 29hab /km² (hors Conakry) et sa croissance démographique est évaluée à 2,3%. Elle regroupe environ 1,85 million d'habitants, dont 50% de ruraux. Le potentiel des terres agricoles est de 1,3 million d'hectares dont 0,38 million de cultivés chaque année. Le riz de mangrove, de bas-fond et de plaine ainsi que le manioc, le palmier à huile sont les principales cultures vivrières. Les températures sont constamment élevées tout au long de l'année. À cause de l'abondance des précipitations, la Basse Guinée est le domaine par excellence des cultures vivrières et des cultures de rentes telles que la banane, l'ananas et le palmier à huile (Ministère des Travaux publics et de l'Environnement, 2005).

La Guinée est l'un des principaux producteurs de riz en Afrique de l'Ouest avec une production annuelle de 840 000 tonnes de paddy. La Basse-Guinée représente l'une de ses principales zones rizicoles avec une production d'environ 300 000 tonnes de riz par an. On y pratique les cultures sur coteaux, sur plaine, de bas-fonds et de mangrove avec plusieurs variétés de riz (Observatoire Riz, 2006). D'après l'auteur, le pays a aussi recours à l'importation d'environ 330 000 tonnes de riz usiné par an et l'essentiel du riz local consommé et commercialisé est un riz étuvé (figure 1.2). Plus de 80% des riz récoltés est souvent stocké dans les greniers ou dans les magasins, pour servir de semences, à la consommation familiale ou pour la commercialisation constituant ainsi des stocks à long terme.

1.6 Le riz

1.6.1 Origine botanique du riz

Les auteurs comme (Sarla *et al.*, 2005, Vaughan *et al.*, 2003; Sato 1999; Porteres, 1956) considère que le riz est originaire de deux régions : l'espèce *Oryza glaberrima*, d'Afrique et l'espèce *Oryza sativa*, de la Chine du Sud. L'homme a commencé à cultiver le riz il y a près de 10 000 ans lors de la révolution néolithique. Il a des origines beaucoup plus lointaines, puisqu'on en a retrouvé des traces dans l'ancien continent indo africain du Gondwana il y a 600 millions d'années.

Le riz (*Oryza sativa* L.) est cultivé dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes pour son fruit riche en amidon. Le riz cultivé existe en de milliers de variétés qui ont été classées en trois groupes : le groupe *japonica*, à épillet court, le groupe *indica*, à épillet très long et le groupe intermédiaire, ou *javanica*.

On peut aussi les classer selon leur degré de précocité, selon la longueur du cycle végétatif, soit en moyenne 160 jours, soit en variétés très précoces (90 à 100 jours) ou précoces, semi-précoces, tardives, très tardives (plus de 210 jours). Selon le mode de végétation, on distingue des variétés aquatiques qui croissent en terrain inondé, les variétés de montagne croissant en culture sèche ou culture pluviale ou les variétés flottantes. La variété «riz sauvage» appartient à un genre voisin, la zizanie (*Zizania aquatica* L.), originaire du nord des États-Unis. La culture est nommée riziculture et le champ cultivé est appelé rizière. Elle requiert une humidité importante.

1.6.2 Description du plant de riz

C'est une plante annuelle glabre à chaume (la paille) dressée ou étalée de hauteur variable, de moins d'un mètre jusqu'à deux mètres, voire jusqu'à cinq mètres pour les riz flottants. Elle est prédisposée au tallage, formant un bouquet de tige, à racines fasciculées (Figures 1.3). Les fleurs, en épillets uniflores, sont groupées en panicules de 20 à 30 cm, dressées ou pendantes. Le fruit est un caryopse enveloppé dans deux glumelles grandes, coriaces et adhérentes, l'ensemble formant le paddy. Selon la texture du grain, on distingue les variétés : ordinaires, à tégument blanc ou rouge et glutineuses (ou riz gluant). Les variétés de riz africains sont généralement rouges.

1.6.3 Description du grain de riz

Le grain de riz (riz paddy) est constitué de partie comestible et de l'enveloppe appelée "balle". La balle constitue 18 à 28% du paddy. Comme pour toutes les céréales, le grain de riz se compose de trois parties principales : l'embryon ou germe, l'amande et l'enveloppe (Figure 1.4). Le riz brun a un péricarpe brun. Dans le riz rouge, le péricarpe et le péricarpe sont rouges. La forme et la taille, la longueur et la largeur des grains sont très variables

suivant les variétés. Le plus souvent, la longueur du grain de riz varie de 4 à 10mm et sa largeur atteint 3,5mm. On distingue d'abord le riz brun ou riz complet qui est un riz entier débarrassé de son enveloppe extérieure fibreuse non comestible appelé balle, qui protège le germe (l'embryon) ainsi que le son qui le rend plus nutritif. Ensuite, nous avons le riz blanc qui est décortiqué et poli. C'est un riz qui a perdu une grande partie de ses éléments nutritifs. Après, viennent le riz rouge et le riz noir. Le riz peut être consommé en grains, en pâte, en soupe, en dessert et autres.

1.7 Description des insectes ciblés

La majorité des insectes ravageurs des grains dans les stocks est constituée par les coléoptères (Coleoptera), suivis par les teignes (Lepidoptera) et des acariens (Acarina) (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1999-2001; Fleurat-Lessard, 1994; Fleurat-Lessard, 1982 et Scotn, 1973). Les principales familles et espèces fréquemment rencontrées dans les grains ont été décrites par Jaque et Niestlé (2004), la Commission canadienne des grains (2004), D'Aguilar et Favral (2004), la Commission canadienne des grains (2001), Delobel et Tran (1993), Kumar (1991), Bousquet (1990), Cruz *et al.* (1988) et Balachowski (1963). D'après ces auteurs, les principaux ravageurs des grains parmi les coléoptères appartiennent aux familles des *Curculionidae*, des *Tenebrionidae*, des *Cucujidae*, des *Bostrichidae* et des *Bruchidae*. Les espèces étudiées appartiennent aux deux premières familles.

1.7.1 *Sitophilus oryzae* L.

➤ Description

C'est une espèce appartenant à la famille des curculionidés caractérisée par la présence d'un long bec ou rostre. L'adulte mesure 2,5 à 4,5 mm, de couleur brun à brun noirâtre avec quatre grosses tâches orangées sur les élytres qui sont ponctuées et striées (Figure 1.5). Les stries élytrales sont grossièrement ponctuées et les inter stries finement ponctuées. Il possède des ailes postérieures membraneuses et peut voler. La larve est longue de 2,5 à 3mm, de couleur blanche, de forme sub-circulaire, apode et très peu velue. Les larves se développent à l'intérieur de la graine. La femelle a une fécondité de 300 œufs et une longévité de six à sept mois.

Les pontes débutent quelques jours après l'accouplement et se poursuivent pendant quatre mois. Les femelles déposent les œufs dans la cavité d'une graine qu'elles forent avec leur rostre. La cavité est ensuite recouverte d'un tampon mucilagineux qui durcit à l'air. L'incubation dure 10 à 15 jours. La larve ronge l'intérieur du grain, se développe et s'y nymphose (Figure 1.6). Le cycle dure environ 24 jours et l'imago émerge au bout d'une semaine. Dans de bonnes conditions (28 à 30°C; 70% HR), le cycle complet dure environ un mois. Les larves vivant à l'intérieur de la graine, les dommages demeurent invisibles. Ce sont les orifices de sortie de l'adulte qui permettent de repérer l'infestation. Quant celle-ci est importante, il ne subsiste que la partie externe de la graine avec ses perforations. Le charançon du riz représente un ravageur de premier plan pour les céréales emmagasinées sur lesquelles il provoque des pertes, une détérioration de la qualité et permet l'installation d'infestations cryptogamiques. Les dégâts causés par *S. oryzae*, *S. zeamais* et *S. granarius* sont les mêmes, mais les deux derniers préfèrent les grains de plus grandes dimensions. Il n'est pas facile aussi de les distinguer à partir de leurs caractères morphologiques. Toutefois, ces derniers sont plus grands et *S. granarius* est pratiquement absent en région chaude.

1.7.2 *Tribolium castaneum* Herbst

➤ Description

C'est un insecte appartenant à la famille des Ténébrionidae. L'adulte mesure de 3 à 4mm, de couleur uniformément brun rougeâtre (Figure 1.7). Il est étroit, allongé, à bord parallèles, à pronotum presque aussi large que les élytres et non rebordé antérieurement. Les 3 derniers articles des antennes sont nettement plus gros que les suivants. Contrairement à *T. confusum*, le chaperon ne dépasse pas l'oeil latéralement. La larve mesure 6mm, environ 8 fois plus longue que large, d'un jaune très pâle à maturité, avec latéralement quelques courtes soies jaunes. La capsule céphalique et la face dorsale sont légèrement rougeâtres.

La longévité de l'insecte est de 2 à 8 mois suivant les conditions abiotiques. Dès l'âge de trois jours, la femelle pond quotidiennement une dizaine d'œufs qui, vers 30°C, éclosent au bout de cinq jours. Les œufs sont déposés en vrac (Figure 1.8) sur les graines et sont difficiles à déceler. Les larves circulent librement dans les denrées infestées et s'y nymphosent sans cocon. À 30°C, la vie larvaire dure à peu près trois semaines et l'adulte émerge de la nymphe six jours après sa formation. C'est une espèce dont l'optimum thermique se situe entre 32 et 33 °C, son développement cessant au dessous de 22 °C et qui résiste très bien aux basses hygrométries. La femelle pond entre 500 et 800 œufs. La durée du cycle dure environ un mois. Adultes et larves sont capables de cannibalisme vis-à-vis des œufs et des nymphes. Ils peuvent se nourrir de champignons qui pourraient envahir le stock et d'une infinie variété de matières végétales sèches et sont toujours présents dans les stocks.

C'est un insecte cosmopolite, qui affectionne les farines dans lesquelles il creuse des galeries. Il leur communique une teinte brunâtre et une odeur âcre et rend la panification difficile. Sur les graines d'arachide, *Tribolium castaneum* provoque un accroissement notable de la teneur en acides gras libres dans l'huile qui en est extraite et s'attaque au riz, blé, son et farine de riz et de blé, maïs, orge, sorgho, millet, manioc, tapioca et farine de manioc, sagou, igname, fruits séchés, toutes légumineuses, sous forme de farine, arachide, coprah, graines de coton, ricin, cabosses de cacao, chocolat, noix de muscade, poivre, gingembre, insectes en collection, etc.

1.8 Description des plantes étudiées

1.8.1 *Ocimum basilicum* L. et *Ocimum gratissimum* L.

Les *Ocimum* ont pour nom commun le basilic et appartiennent à la famille des *Lamiaceae* (Lamiacées) dans laquelle il forme le genre *Ocimum* (Figures 1.9 et 1.10). Selon le dictionnaire Petit Larousse (1987), le nom basilic vient du grec «basilikon» royal, plante aromatique originaire d'Asie. Elle est utilisée par les Hindous lors des funérailles pour protéger l'âme des défunts contre des esprits malveillants dans un autre monde. Originaire de l'Inde, de l'Afrique et de l'Asie, il est maintenant cultivé un peu partout et est devenu une plante très appréciée pour son bon goût, son odeur et ses vertus curatives. Selon Koba *et al.* (2009); Paton (1992), le basilic a longtemps été associé au romantisme et son utilisation s'étend également aux domaines de la parfumerie et de l'alimentation. Au Cambodge et au Viêt-Nam, il est utilisé pour soigner l'asthme et la toux. C'est une plante médicinale utilisée généralement contre les maux d'estomac et condimentaire. La décoction de racines est utilisée en Thaïlande contre l'ictère. En Birmanie, des décoctions soulagent le prurit. Les grecs orthodoxes l'utilisent en parfumant l'eau bénite. En Afrique, elle se retrouve généralement dans les habitations.

➤ Description botanique

Ce sont des plantes herbacées longues de 30cm à 1m. Les fleurs sont de couleurs blanches ou pourpres. Les tiges sont quadrangulaires généralement ligneuses à leur base et très ramifiées. Les feuilles sont pétiolées et opposées. La culture se fait sur un sol neutre, riche en humus, frais, bien drainé ou en pot. Les feuillages sont persistants et il faut couper les fleurs dès leur apparition pour favoriser leur développement. Le genre compte environ 150 espèces de plantes herbacées ou buissonnantes, annuelles ou vivaces, aromatiques dont la plus connue est le basilic commun (*Ocimum basilicum*). Les espèces ou variétés intéressantes sont : *Ocimum basilicum* ou Grand vert aux larges feuilles, *Ocimum basilicum* ou Grand vert aux petites feuilles, *Ocimum basilicum* ou Citriodora à odeur de citron, *Ocimum basilicum* Lime ou basilic citron, *Ocimum basilicum* rouge aux feuilles pourpres, *Ocimum basilicum* ou Moulin rouge aux feuilles pourpres dentelées, *Ocimum basilicum* ou basilic américain. Les synonymes sont nombreux et souvent un même nom désigne deux espèces différentes en fonction des auteurs. *Ocimum gratissimum* est particulièrement utilisé en Afrique, en Amérique du Sud et dans les Antilles avec *Ocimum sanctum*, le basilic sacré et *Ocimum basilicum*, le basilic commun.

Le basilic est le meilleur tonique pour le système nerveux. Il remet les idées en place, combat le stress, la fatigue et augmente la résistance du corps. Il a une action anti-dépressive et stimule la mémoire, régularise le système neurovégétatif, antispasmodique, antiviral, fébrifuge. Il est aussi conseillé dans l'hépatite virale, maladies infectieuse tropicale. C'est un stimulant digestif, surrénal et circulatoire et un décongestionnant biliaire. Il est utilisé contre l'indigestion, la nausée, la flatulence, le mal d'oreille, le rhume, la sinusite, la migraine, les crampes du bas ventre, l'insomnie, l'anxiété, l'épuisement intellectuel, l'asthme, la bronchite, la toux, le hoquet et la coqueluche. Il calme les piqûres de guêpe, régularise les menstruations.

Les huiles essentielles possèdent de nombreuses vertus. Elles sont des stimulants qui éloignent l'asthénie et tonifient l'appareil digestif. L'huile de basilic tropical est un puissant anti-spasmodique, très efficace pour soulager les spasmes, les douleurs abdominales. Elle exerce une action sur le bulbe rachidien qui la rend neurorégulatrice. Décongestionnant, l'huile de basilic tropical est encore antivirale, anti-infectieuse, antibactérienne, anti-inflammatoire et antalgique. Elle permet de lutter contre les staphylocoques, les troubles de circulation sanguine et les affections respiratoires. Elle est utilisée contre la fusariose (champignon) qui fait faner la plante. Elle s'utilise également diluée dans un alcool pour une diffusion atmosphérique (en période d'épidémie de grippe par exemple).

1.8.2 *Cymbopogon citratus* Stapf

➤ Description botanique

Cymbopogon citratus Stapf appartient à la famille des Graminées ayant pour synonyme *Andropogon citratus*. Il a pour nom commun, herbe citron, Citronnelle de Madagascar, Verveine de l'Inde ou Verveine de Ceylan. Il est connu sous le nom de Schénante en parfumerie. C'est une belle graminée vivace formant des touffes serrées, denses, arrondies comme un coussin (Figure 1.11). La plante est herbacée, à longues feuilles linéaires, dressées de 90cm à 2m de hauteur, à bords rugueux et coupant, de couleur vert bleuté assez pâle dégageant en permanence un très puissant parfum citronné. Les senteurs qu'elle exhale en font un végétal très intéressant. Les tiges sont creuses, bulbeuses à base enveloppée dans la gaine des feuilles. Sa culture exige le plein soleil, un sol chaud et riche avec des vents froids et se propage par division. Elle se cultive aussi en appartement dans une pièce fraîche bien éclairée et dans les serres.

➤ Historique et origine

Originnaire de l'Inde la citronnelle est un ingrédient traditionnel de la cuisine du Sud-Est de l'Asie (Inde, Thaïlande, Viêt-Nam, Indonésie). Au nord du Maroc, elle est utilisée pour aromatiser le thé vert à la menthe. Ses feuilles séchées sont aussi très utilisées dans les cuisines malaisienne, indonésienne et chinoise pour marinades de poissons ou de la viande grillée. On la retrouve également dans les recettes françaises et africaines avec le gingembre, la noix de coco, l'ail et le piment. On en extrait également une huile essentielle utilisée comme répulsif contre les moustiques. L'huile est utilisée également en aromathérapie.

Elles sont souvent utilisées pour aromatiser les soupes et les sauces. La citronnelle indienne et le nard indien (*C. flexuosus* et *C. nardus*) sont utilisés quant à eux pour produire l'huile de citronnelle, si souvent employée, en cuisine ainsi qu'en parfumerie. Elle est utilisée en cosmétique et en médicinale. C'est aussi une plante décorative cultivée pour ses tiges et feuilles aux qualités aromatiques et à goût de citron. Les feuilles entrent dans de nombreuses recettes et boissons exotiques et plusieurs espèces voisines du même genre *Cymbopogon* sont également utilisées aux mêmes fins.

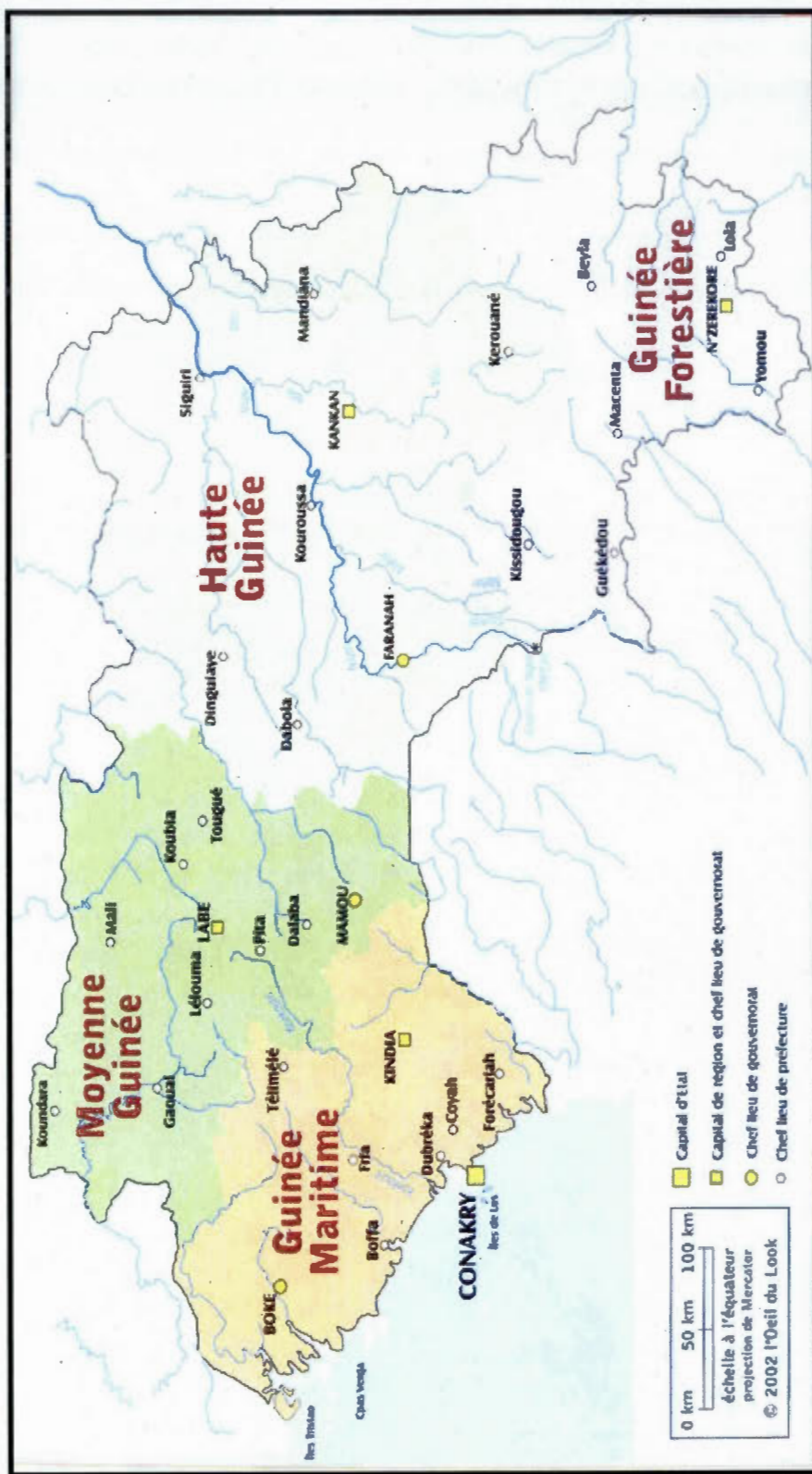


Figure 1.1: Régions naturelles de Guinée

Source internet : archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/files/c60e53ff-35a6-41f9-ba88671c65cfb18e/ch10.html



a) Riz étuvé



b) Riz importé

Figure 1.2: Commerce du Riz étuvé (a) et transport du riz importé (b)

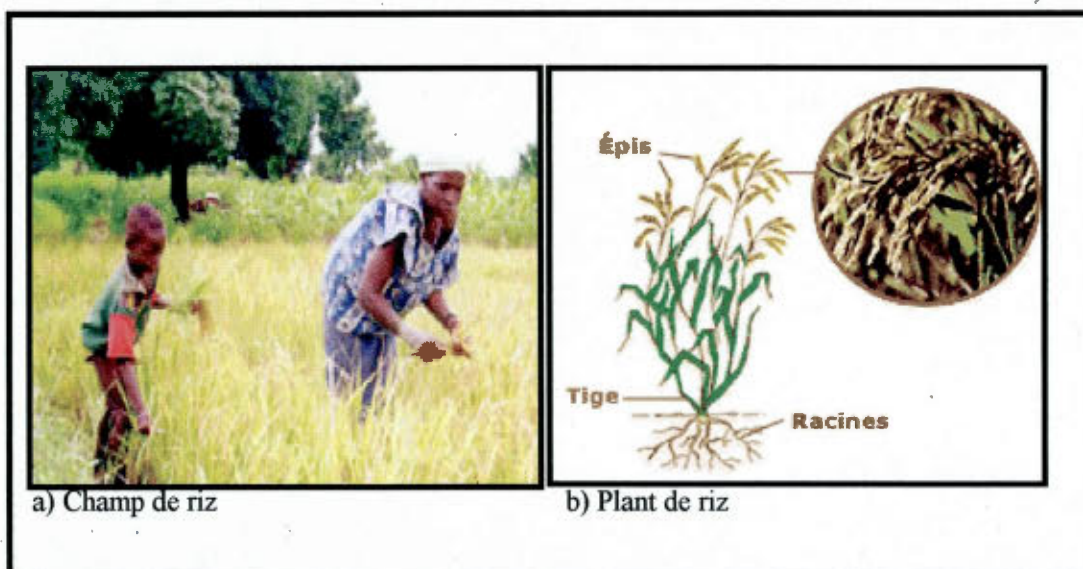


Figure 1.3: Champ de riz (a) et un Plant de riz (b)

Source : ADRAO

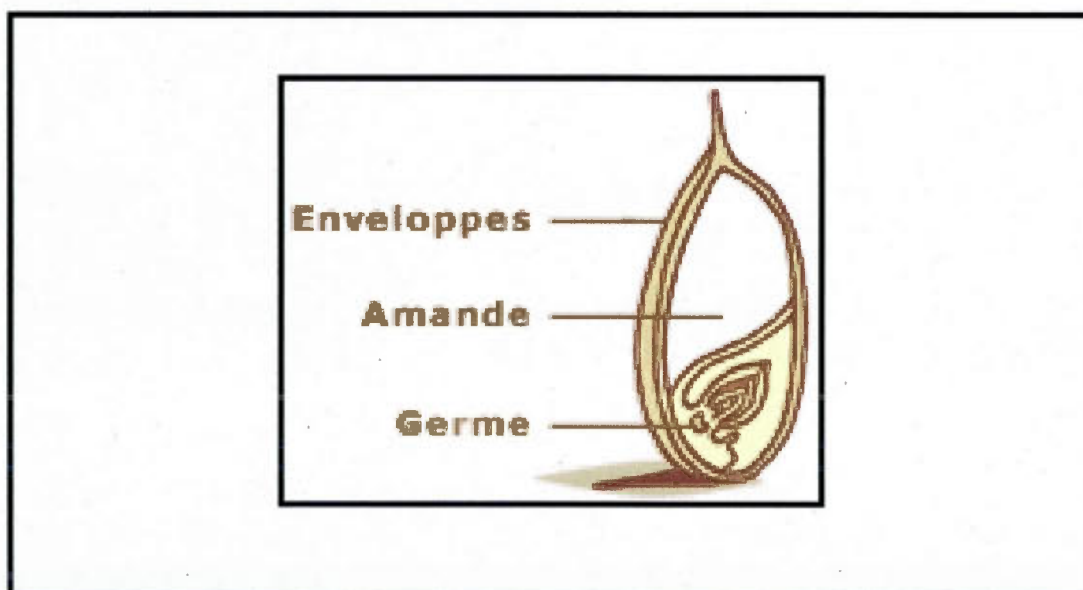


Figure 1.4: Coupe de grain de riz

Source : (Passion céréale, 2008)



Figure 1.5: *Sitophilus oryzae* adulte (Coleoptera : Curculionidae)

(Belgique Hainaut Mons 2006)

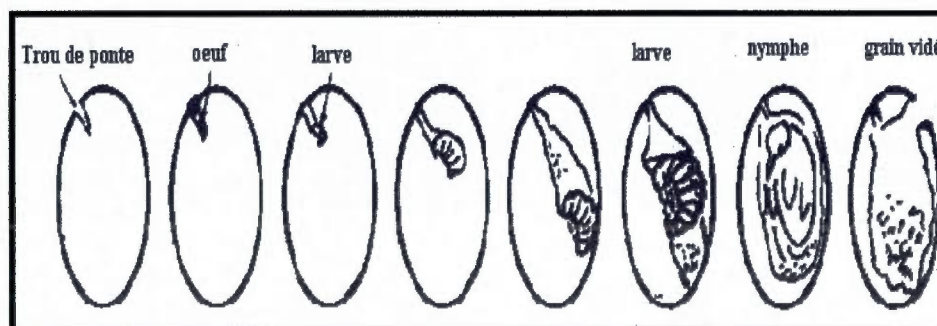


Figure 1.6: Développement de *S. oryzae*

Source : (Cruz *et al.*, 1988)

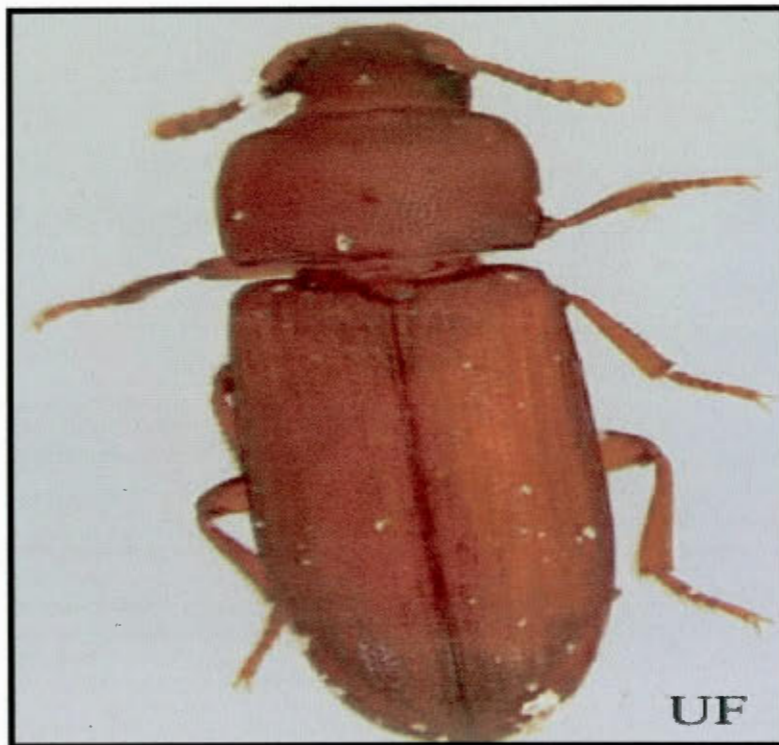


Figure 1.7: *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera:Tenebrionidae)

Source: (University of Florida 2003-2006)

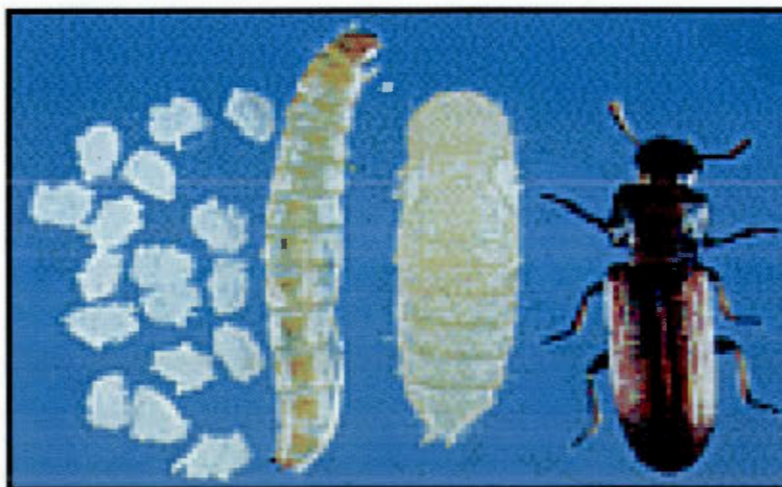


Figure 1.8: Oeufs, larves, nymphe et adulte de *T. castaneum*

Source : (Commission canadienne des grains, 2004)



Figure 1.9: *Ocimum basilicum* L.



Figure 1.10: *Ocimum gratissimum* L.



Figure 1.11: *Cymbopogon citratus* Stapf

CHAPITRE II

LUTTE CONTRE *SITOPHILUS ORYZAE* L. ET *TRIBOLIUM CASTANEUM* HERBST PAR L'UTILISATION DE LA TECHNIQUE D'ÉTUVAGE TRADITIONNELLE PRATiquÉE EN BASSE-GUINÉE.

Par

Aïssata CAMARA

Avec la collaboration de :

Charles VINCENT¹ et Michel RAYMOND².

1. Centre de R&D en horticulture, Agriculture et agro-alimentaire Canada, 430 boul. Gouin,
Saint-Jean-sur-Richelieu, Qc, Canada J3B 3E6.

2. Département des sciences biologiques, Université du Québec à Montréal (UQAM), C.P.
8888, succursale Centre-Ville, Montréal, Qc, Canada H3C 3P8.

RÉSUMÉ

Au cours de l'entreposage du riz en Afrique, des pertes importantes sont occasionnées par les insectes ravageurs. Afin de réduire l'emploi des pesticides, l'utilisation de certaines méthodes traditionnelles est en phase de réhabilitation, mais la plupart d'entre elles n'ont pas encore fait l'objet d'études scientifiques, comme c'est le cas de l'étuvage traditionnel du riz. La présente étude a pour objectif d'évaluer l'efficacité de la technique d'étuvage traditionnel pratiquée en Basse-Guinée pour le contrôle de deux ravageurs *Sitophilus oryzae* L. et *Tribolium castaneum* Herbst. L'hypothèse principale est que le riz étuvé par la méthode traditionnelle empêche le développement des insectes dans les stocks. La survie, le nombre de trous de ponte et le nombre d'adultes émergés en fonction du temps ont été mesurés dans cinq milieux alimentaires, d'abord en laboratoire pour les travaux de bio essais et, ensuite, en Guinée pour les travaux de terrain en collaboration avec la population paysanne. Deux expériences ont été effectuées : la première expérience avec *S. oryzae* seul et la seconde avec *S. oryzae* associé à *T. castaneum*. En ce qui concerne la survie avec *S. oryzae* seul, le plus petit nombre d'insectes survivants significativement différent des autres a été trouvé dans le riz étuvé paddy (24 insectes/50 après 15 jours). Quant à l'expérience 2 avec *S. oryzae* associé à *T. castaneum*, les plus petits nombres d'insectes survivants ont été aussi enregistrés dans les riz étuvés paddy 27 insectes/50 et blanc 29 insectes/50. Pour ce qui concerne la ponte, une différence significative a été enregistrée entre les riz étuvé rouge (36), étuvés blanc (7,1) et étuvé paddy (10,2) qui avaient les plus petits nombres moyens significatifs d'œufs par rapport aux riz non étuvé blanc (158,4) et paddy (81,5) pour la première expérience. Les mêmes observations ont été notées pour la deuxième expérience. Dans le cas des adultes émergés, les plus petits nombres moyens significatifs ont été trouvés aussi dans les riz étuvés paddy et blanc pour toutes les périodes par rapport aux riz non étuvés. Il ressort donc de ces résultats que l'étuvage du riz est efficace pour la protection du riz pour une période d'au moins trois mois contre les ravageurs. Le défi est de rendre cette technique encore plus accessible à la population.

Mots clés : Denrées stockées, riz étuvé, insectes ravageurs, céréales, *S. oryzae*, *T. castaneum*, méthodes traditionnelles de conservation des céréales.

2.1 Introduction

Les denrées alimentaires sont généralement attaquées par les insectes au cours de leur entreposage. Les pertes sont considérables dans les pays tropicaux humides en raison du climat favorable au développement des ravageurs (Foua-Bi, 1992). Les pertes dues aux charançons, par exemple, peuvent atteindre de 25 à 40% des récoltes en Afrique (Bekon et Fleurat-Lessard, 1989).

De nombreux travaux ont été réalisés pour le contrôle des ravageurs des grains en stockage (Danho et Haubruge, 2003; Riudavets et Lucas, 2000; Haryadi et Fleurat-Lessard, 1994; Bekon et Fleurat-Lessard, 1989). En Afrique, plusieurs chercheurs se sont intéressés au savoir-faire paysan et à leurs méthodes traditionnelles de protection des denrées entreposées. C'est le cas par exemple des travaux d'évaluation de certains extraits de plantes sur les ravageurs du haricot, du niébé et du maïs (Pierre, 2004; Kéita *et al.*, 2001; Seck *et al.*, 1996; Delobel et Malonga, 1987). L'étuvage du riz est une pratique traditionnelle de protection pour laquelle on possède peu d'informations publiées concernant ses effets contre les insectes.

L'étuvage traditionnel est un procédé qui consiste à pré-cuire du riz paddy préalablement hydraté (à 30% environ) et à le faire passer ensuite à la vapeur. Les études sur l'évaluation des qualités organoleptique et nutritionnelle du riz étuvé ont montré que l'étuvage provoque une gélatinisation de l'amidon formant une structure compacte, assurant une forte cohésion du grain, ce qui lui permettrait de résister aux attaques des insectes et de se conserver plus longtemps (Bhattacharya, 1985; Juliano et Bechtel, 1985; Gariboldi, 1984). D'après les mêmes auteurs, cette transformation améliore les qualités organoleptique et nutritionnelle des grains en les enrichissant en vitamines hydrosolubles et minéraux concentrés dans leur péricarpe. Les quelques rares publications traitant de l'effet de l'étuvage sur les insectes concernent le procédé industriel. McGaughey (1974) et Pingale *et al.* (1957)

ont montré qu'après 8 mois de stockage dans des sacs de jute, le riz étuvé blanc était peu infesté par rapport au riz non étuvé blanc, entre autres, par *S. oryzae*. Ces auteurs ont rapporté également que les insectes se développent mieux dans le riz brun ou rouge légèrement humide que dans le riz non décortiqué ou paddy.

L'étuvage du riz est une pratique traditionnelle en Basse-Guinée, généralisée de nos jours dans tout le pays et que les ONG cherchent à vulgariser dans les pays de la sous-région Ouest africaine. L'objectif de notre étude est d'évaluer l'effet du riz étuvé par cette technique traditionnelle sur la survie de *Sitophilus oryzae* L. et de *Tribolium castaneum* Herbst. L'hypothèse est que le riz étuvé pourrait empêcher le développement de ces ravageurs dans le système de stockage.

2.2 Matériel et méthode

2.2.1 Matériel biologique

➤ Insectes utilisés

Les insectes (*Sitophilus oryzae* et *Tribolium castaneum*) ont été récoltés dans les champs du centre de recherche agronomique de Foulaya en Guinée puis élevés sur maïs au laboratoire du même centre sur 2 ou 3 générations avant les expériences. Leur récupération a été faite après égrenage et tamisage des grains de maïs. Ces individus ont été placés dans des flacons de riz jusqu'à l'apparition des nouveaux adultes de la génération suivante qui ont été utilisés pour nos expériences. Ces flacons ont été conservés à la température ambiante (28 à 30° C) dans un laboratoire du centre d'étude et de recherche en environnement (CÉRE) de l'Université de Conakry, en Guinée.

➤ Milieux alimentaires

Cinq types de riz ont été utilisés comme milieux alimentaires. Il s'agit du riz non étuvé paddy (RNEP), du riz non étuvé blanc (RNEB), du riz étuvé paddy (REP), du riz étuvé décortiqué rouge (RER) et du riz étuvé blanc (REB). Ces milieux alimentaires ont été choisis et préparés en collaboration avec la population paysanne. Le RNEP a été obtenu après séchage du paddy au soleil et le RNEB a été obtenu après transformation du paddy séché dans le mortier à l'aide d'un pilon.

L'étuvage a été réalisé selon la méthode traditionnelle suivante. D'abord, nous avons procédé à un nettoyage rapide du riz paddy à l'eau froide ensuite, nous avons effectué une cuisson préalable du riz nettoyé. Les grains lavés ont été placés dans un fût coupé contenant de l'eau chaude pour les faire bouillir pendant 10 à 15 minutes. Le substrat a été laissé au repos durant 10 à 12 h environ. Le paddy précuit a été versé dans un autre demi fût coupé ayant un fond perforé de petits trous et protégé par un tissu. Ce fût contenant le riz a été déposé sur un second demi fût contenant de l'eau. Le tout a été mis à chauffer jusqu'à apparition de la vapeur d'eau en surface. L'opération a été arrêtée lorsque les balles des grains ont commencé à s'ouvrir (30- 40 minutes environ). Le riz évaporé a ensuite été étalé au soleil pendant une journée sur une bâche où il a été remué périodiquement afin d'homogénéiser le séchage.

Le REP a été obtenu ainsi après séchage et le REB a été obtenu après pilage du paddy séché dans les mortiers. Le RER a été obtenu après élimination de la première enveloppe (péricarpe) à l'aide des pilons et des mortiers. Les milieux alimentaires ainsi préparés ont été mis dans des sachets en plastique et ont été placés dans un congélateur pendant 48h afin de prévenir toute infestation éventuelle, notamment par les champignons. Avant leur utilisation, les échantillons ont été placés dans les conditions du laboratoire pendant 48h.

2.2.2 Méthode expérimentale

Deux expériences ont été réalisées pour contrôler la survie et la dynamique des populations des insectes ravageurs dans les différents milieux alimentaires. Pour la première expérience, les cinq milieux alimentaires ont été infestés seulement par *Sitophilus oryzae*. Les deux ravageurs (*Sitophilus oryzae* et *Tribolium castaneum*) ont été associés pour la deuxième expérience. Pour chaque expérience 250 bocaux ont été préparés, soit 50 bocaux par milieu alimentaire contenant chacun 50 g de riz. Pour chaque milieu alimentaire, 40 bocaux ont été infestés à raison de 5 adultes par espèce et par bocal dont au moins 2 femelles de *S. oryzae*. Les insectes ajoutés étaient âgés d'au plus 7 jours. Une toile de moustiquaire recouverte d'un couvercle percé au centre empêchait les insectes de s'échapper des bocaux. Pour chaque milieu associé à chaque expérience, 10 bocaux de riz non infesté ont servi de témoins. Tous les bocaux ont été laissés en incubation au laboratoire à la température ambiante de 28 à 30° C et à 70% HR.

Après 15 jours d'incubation, 10 bocaux infestés ont été prélevés dans chaque milieu alimentaire, au total 50 bocaux par expérience, pour le dénombrement des insectes ajoutés survivants ainsi que pour le dénombrement des trous de ponte. Le dénombrement des trous de ponte a été effectué après coloration des milieux par la méthode de Holloway (1985). Après la ponte puis le retrait des adultes initiaux, les 30 autres bocaux restant de chaque milieu alimentaire ont été laissés à l'incubation pour le dénombrement mensuel des adultes émergents sur une période de 3 mois.

➤ **Technique de coloration (Holloway, 1985)**

Les grains ont été d'abord humidifiés par trempage dans un bain d'eau tiède (25 à 30°C); ils ont ensuite été immergés pendant 30 à 60 secondes dans la solution de fuschine (solution d'eau distillée contenant 5 % d'acide acétique et 0,5 % de fuschine acide). Les substances mucilagineuses qui bouchent les trous de ponte colorés en rouge cerise par la solution ont été dénombrées après rinçage des grains à l'eau et observation directe au microscope stéréoscopique.

2.3 Analyses statistiques

L'effet de l'étuvage a été mesuré selon les variables suivantes : nombre d'adultes survivants, nombre de trous de ponte et nombre d'adultes émergés survivants par mois sur une période de 3 mois. Les données ont été traitées statistiquement par une analyse de variance (ANOVA) à un critère de classification au moyen du logiciel JMP IN version 5.1 (2003) pour Windows. La normalité de la distribution des données a été confirmée. La comparaison des moyennes des différents milieux a été effectuée par le test de Tukey Kramer HSD au seuil de $p = 0,05$.

2.4 Résultats

2.4.1 Nombre d'adultes survivants après 15 jours

L'ANOVA a confirmé qu'il existe des différences significatives pour l'expérience 1 (*S. oryzae* seul) ($F = 6,26$; $p = 0,0004$; $ddl = 4/45$). Cette différence a été enregistrée dans REP qui renfermait le plus petit nombre moyen significatif de survivants (2,4) par rapport à ceux de RER (4,4), RNEB (4,3) et RNEP (3,8) (Figure 2.1). Pour ce qui concerne l'expérience 2 (*S. oryzae* associé), des différences significatives ont été également confirmées ($F = 9,31$; $p < 0,0001$; $ddl = 4/45$). Dans cette expérience, les milieux REP et REB renfermaient les plus petits nombres moyens significatifs de survivants 2,9 et 2,7 respectivement par rapport aux milieux RER, RNEB et RNEP qui en avaient respectivement 4,5, 4,1 et 4,1 (Figure 2.2). Aucune différence significative n'a été observée pour *T. castaneum* (Figure 1C).

2.4.2 Nombre de trous de ponte

Il y avait une différence significative entre les trous de ponte observés dans les différents milieux alimentaires pour l'expérience avec *S. oryzae* seul ($F = 250,63$; $p < 0,0001$; $ddl = 4/45$) et pour l'expérience avec *S. oryzae* associé, ($F = 152,37$; $p < 0,0001$; $ddl = 4/45$) (Figure 2.3 et 2.4). Dans la première expérience, les plus petits nombres moyens significatifs de trous de ponte ont été trouvés dans les riz étuvés REP (7,1) et REB (10,2) par rapport aux autres milieux RNEP (81,5) et RNEB (158,4). Les mêmes différences ont été trouvées dans l'expérience avec *S. oryzae* associé pour REB (8,3) et REP (8,8) par rapport à RER (40,9), RNEP (66,3) et RNEB (139,3).

2.4.3 Nombre d'adultes survivants émergés durant 3 mois

Pour les deux premiers mois, le dénombrement n'a pas été effectué dans les paddy parce que la majeure partie des insectes émergés restait cachée sous les enveloppes. Ceci nous a obligé à attendre la fin des expériences pour ces milieux et de considérer seulement les données pour les riz non paddy durant les deux premiers mois. L'analyse a confirmé qu'il existait des différences significatives entre les milieux pour les deux premiers mois et pour chaque espèce dans les deux expériences (Tableau 2.1). Pour l'expérience-1, les principales différences au cours de ces deux premiers mois ont été observées dans les milieux REB qui avaient les plus petits nombres moyens significatifs d'adultes émergés soit 5,53 après un mois et 4,33 après deux mois par rapport à ceux émergés dans les autres milieux soit 14,5 adultes pour RER et 19,6 adultes pour RNEB après un mois de même que 43,0 et 42,93 adultes respectivement après deux mois. Au troisième mois, des différences significatives existaient aussi entre les milieux. Les nombres moyens d'adultes émergés dans RNEB soit 158,4 et dans RER soit 152,1 étaient significativement différents de ceux émergés dans RNEP (13,6), dans REB (12,9) et dans REP (3,8). Des résultats similaires ont été observés pour l'expérience-2 (Tableau 1).

2.5 Discussion et conclusion

Les résultats concernant la survie, les trous de ponte et le dénombrement mensuel des survivants, montrent que le nombre d'adultes survivants après 15 jours était significativement réduit dans les milieux REP pour la première expérience (*S. oryzae* seul), ainsi que dans les milieux REB, REP pour la seconde expérience (*S. oryzae* associé à *T. castaneum*). Le nombre des trous de ponte était réduit dans les trois milieux étuvés : REB, REP et RER pour les deux expériences. En ce qui concerne le dénombrement mensuel des adultes survivants, le nombre d'adultes survivants était réduit dans le milieu REB durant les deux premiers mois, dans les milieux REB et REP pour le troisième mois avec des fluctuations pour RER. Ces résultats mettent en évidence l'effet de l'étuvage sur la survie, sur la ponte et sur l'émergence des

adultes de *S. oryzae* sur une période de trois mois dans le riz blanc. Par contre avec le paddy on n'observe pas la même chose à cause des difficultés de méthodologie notamment le dénombrement de tous les adultes survivants qui se cachent souvent dans les enveloppes. Dans le cas de *T. castaneum*, la présence des larves de premiers stades (de l'ordre de centaines par bocal) difficiles à dénombrer a été observée après trois mois d'entreposage. Cette observation suggère un ralentissement du cycle de développement pour cette espèce.

Malgré le fait que nous n'avons pas possédé tel que suggéré par la méthode de Dobie (1974) à cause du nombre élevé de répliquât, nous ne croyons pas que nos résultats en est été affectés avec l'infestation des bocaux par 5 insectes adultes étant donné que nous avons toujours pris soins d'avoir 2 couples (2 mâles et 2 femelles) dans chaque bocal.

D'après Bhattacharya (1985), Juliano et Bechtel (1985), l'étuvage du riz provoque une gélatinisation de l'amidon. Cette texture compacte de l'albumen lui permet d'abord d'être conservé plus longtemps et ensuite de résister aux attaques des insectes. McGaughey (1974) et Pingale *et al.* (1957) ont aussi affirmé que le riz blanc étuvé industriellement empêche le développement des ravageurs par rapport au riz blanc non étuvé. En plus, ils rapportent qu'une augmentation du degré d'humidité peut rendre le riz étuvé approprié à tous les ravageurs y compris *T. castaneum*. Ces résultats concordent avec les nôtres puisque le nombre des adultes survivants dans les riz étuvés blanc et paddy était significativement réduit par rapport au riz blanc non étuvé. Quant au riz décortiqué rouge, les mêmes effets ont été observés mais seulement dans 3 cas sur 6, ce qui pourrait être dû à l'absorption de l'humidité par ce riz au cours de l'entreposage d'après McGaughey (1974) et Pingale *et al.* (1957). Avec *T. castaneum*, la survie des adultes dans les riz étuvés pourrait dépendre de son comportement de cannibalisme lui permettant de s'attaquer aux nymphes et aux œufs de sa progéniture quand le milieu est pauvre en aliments (Gwinner *et al.*, 1996).

Nous pouvons conclure que le riz blanc étuvé traditionnellement empêche le développement des deux ravageurs étudiés pour une période d'au moins 3 mois, ce qui confirme notre hypothèse. Ce même résultat n'a pas pu être mis en évidence avec

les riz étuvé paddy en raison des limitations méthodologiques. L'étuvage permettrait donc de réduire les pertes dans les stocks non seulement pour les grandes industries de riz (McGaughey, 1974), mais aussi pour les productions traditionnelles. L'étuvage serait ainsi une pratique qui pourrait conduire à l'amélioration de la sécurité alimentaire dans les pays en développement. Le défi est de répandre cette technique traditionnelle et durable.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée grâce au support financier et matériel du programme canadien de bourse de la francophonie (PCBF). Nous remercions les autorités de l'Université de Conakry, du Centre d'Étude et de Recherche en Environnement (CERE) pour leur accueil et soutien matériel. Nos remerciements vont aussi au D^r Sékou Moussa Kéita (CERE), au D^r Éric Lucas (UQAM), au D^r Traoré (Centre de Recherche Agronomique de Kindia) et aux collègues du laboratoire du CERE pour leurs conseils constructifs et leur participation aux travaux de bio essai. Nous remercions également les villageoises de Coyah, particulièrement Madame Hadja Mamadi Sakho, pour leur participation aux travaux de terrain. Enfin, nous remercions les étudiants du laboratoire de lutte biologique du D^r Éric Lucas pour leurs discussions stimulantes.

BIBLIOGRAPHIE

- Bekon, K. et Fleurat-Lessard, F. 1989. «Évolution des pertes en matière sèche des grains dus aux ravageurs secondaires *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera : Tenebrionidae), lors de la conservation des céréales». In *Céréales en régions chaudes. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris*, 97-104.
- Bhattacharya, K. 1985. «Parboiling of rice». In (ed) de Juliano B.O. *Rice chemistry and technology. American Association of cereal chemists* St. Paul, MN, USA, 289-348.
- Danho, M. et Haubruge, É. 2003. «Comportement de ponte et stratégie reproductive de *Sitophilus zeamais*». *Phytoprotection* 84 : 59-67.
- Delobel, A. et Malonga, P. 1987. «Insecticidal properties of six plant materials against *Caryedon serratus* (OL.) Coleoptera: Bruchidae». *J. Stored Prod. Res.*, 23 : 173-176.
- Dobie, P. 1974. «The laboratory assessment of the inherent susceptibility of maize varieties to post harvest infestation by *Sitophilus zeamais*». *J. Stored Prod. Res.*, 10: 183-187.
- Foua-Bi, B.R. 1992. Préambule. In : Foua-Bi K, Philogène B.J.R., eds. *La post-récolte en Afrique : Actes du Séminaire International de la Post-Récolte en Afrique*. Abidjan, Côte d'Ivoire 29 jan -1^{er} fév. 1990. Montmagny: Aupelf-Uref, 152-154.
- Gariboldi, F. 1984. «Rice parboiling». *FAO. Agric. Serv. Bull.* 56. Rome, FAO. 73 p.
- Gwinner, J., Harnisch, R. et Mück, O. 1996. Manuel sur la manutention et la conservation des grains après récolte. GTZ, Eschborn, 368 p.
- Haryadi, Y., Fleurat-Lessard, F. 1994. «Factors affecting survival and development of *Sitophilus oryzae* L. in rice grain pericarp layers». : Highley, E., Wright, E. J., Banks, H. J., Champ, B. R. (Eds), *Proceedings of the Sixth International Working Conference on Stored Products Protection, CAB International, Wallingford, United Kingdom*, 525-527.
- Holloway, G.J. 1985. «The effect of increased grain moisture content on some life history characters of *Sitophilus oryzae* (L.) after staining egg plugs with acid fuchsin». *J. Stored Prod. Res.* 21: 165-169.

- Juliano, B.O. et Bechtel, D.B. 1985. «The rice grain and its gross composition. In (ed) de Juliano B.O. *Rice chemistry and technology*. American Association of cereal chemists St. Paul, MN, USA, 17-57.
- JMP IN 5.1 Windows. 2003. «USER'S Guide Starting, Creating, Opening and Saving Data». Academic product, SAS Institute, Inc. USA.
- Kéita, S.M., Vincent, C., Schmit, J.P., Arnason, J.T. et Bélanger, A. 2001. «Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an insectidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera: Bruchidae)». *J. Stored Prod. Res.* 37: 339-349.
- McGaughey, W.H. 1974. «Insect development in milled rice: Effects of variety, degree of milling, parboiling and broken kernels». *J. Stored Prod. Res.* 10 : 81-86.
- Pierre, A. 2004. «Huiles essentielles et insectes ravageurs: Tests en labo et sur Terrain». *Acta Bot. Gallica*, 2003, 150: 267-274.
- Pingale, S.V., Kadkol, S.B., Rao, M.N., Swaminathan, M. et Subrahmanyam, V. 1957. «Effect of insect infestation on stored grain-II. Studies on husked, hand-pounded and milled raw rice, and parboiled milled rice». *J. Sci. Fd. Agric.* 8: 512-516.
- Riudavets, J. et Lucas, E. 2000. «Lethal and sublethal effects of rice polishing process on *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae)». *J. Econ. Entomol.* 93: 1842-1847.
- Seck, D., Lognay, G., Haubruge, É., Marlier, M. et Gaspar, C. 1996. «Alternative Protection of Cowpea Seeds Against *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) using Hermetic Storage alone or in Combination with *Boscia senegalensis* Pers. Lam. Ex. Poir». *J. Stored Prod. Res.* 32: 39- 44.

LÉGENDES DES FIGURES

Figure 2.1 : Nombre moyen d'adultes survivants de *S. oryzae* après 15 jours,

Figure 2.2 : Nombre moyen d'adultes survivants de *S. oryzae* associé à *T. castaneum*,

Figure 2.3 : Nombre moyen d'adultes survivants de *T. castaneum*

Figure 2.4 : Nombre moyen de trous de ponte pour *S. oryzae* seul après 15 jours,

Figure 2.5 : Nombre moyen de trous de ponte pour *S. oryzae* associé à *T. castaneum*.

Milieux alimentaires :

Riz non étuvé blanc (RNEB), Riz non étuvé paddy (RNEP), Riz étuvé blanc (REB), Riz étuvé paddy (REP), Riz étuvé décortiqué rouge (RER).

Dans chaque figure, les nombres moyens suivis d'une même lettre n'ont pas de différence significative selon le test de Tukey Kramer HSD au seuil ($p = 0,05$, $dl = 4/45$)

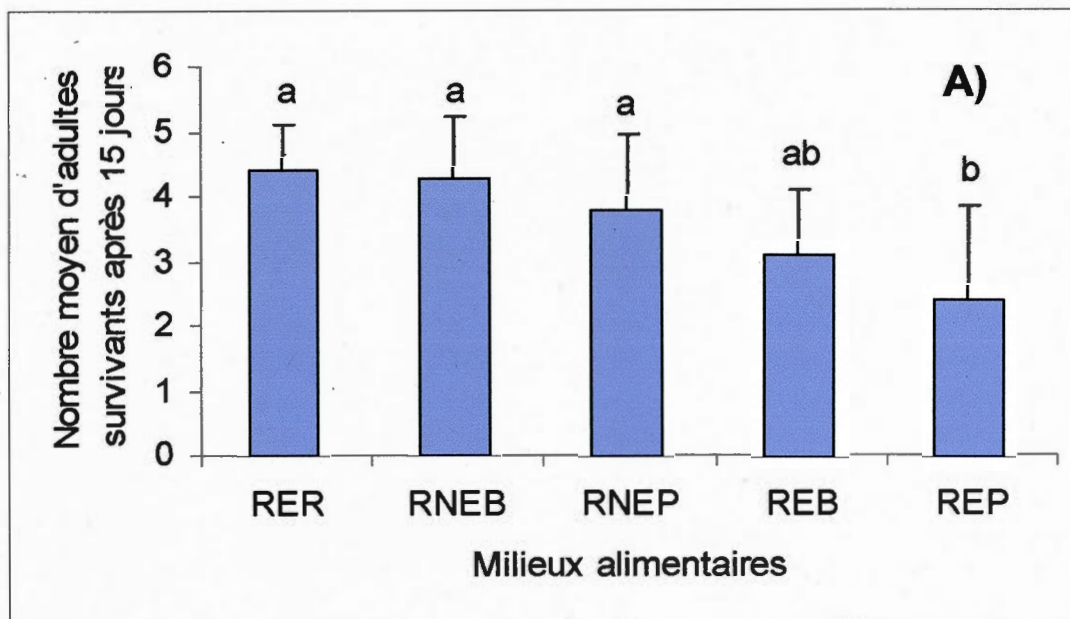


Figure 2.1

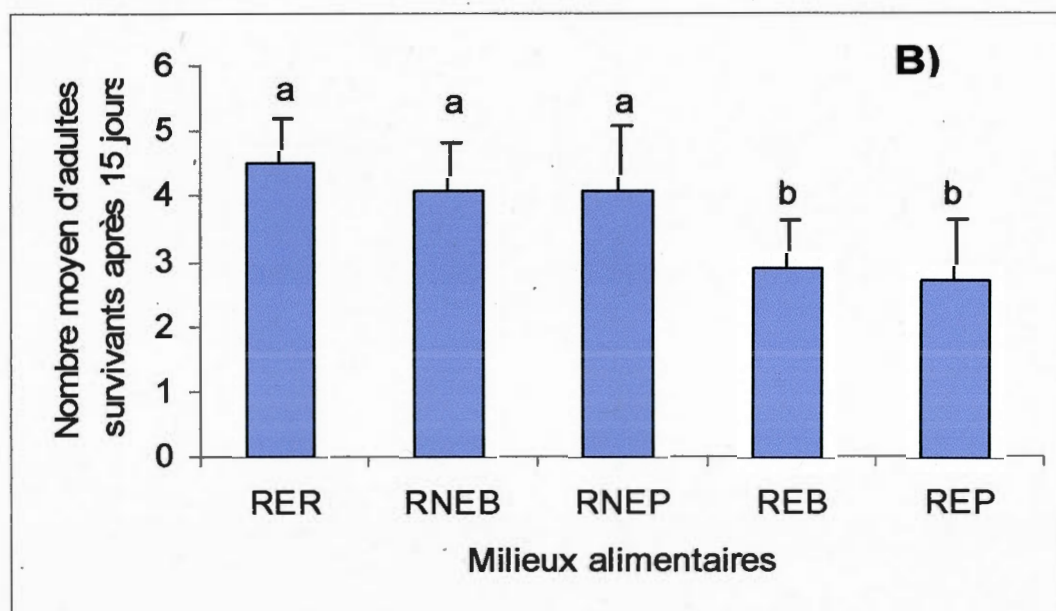
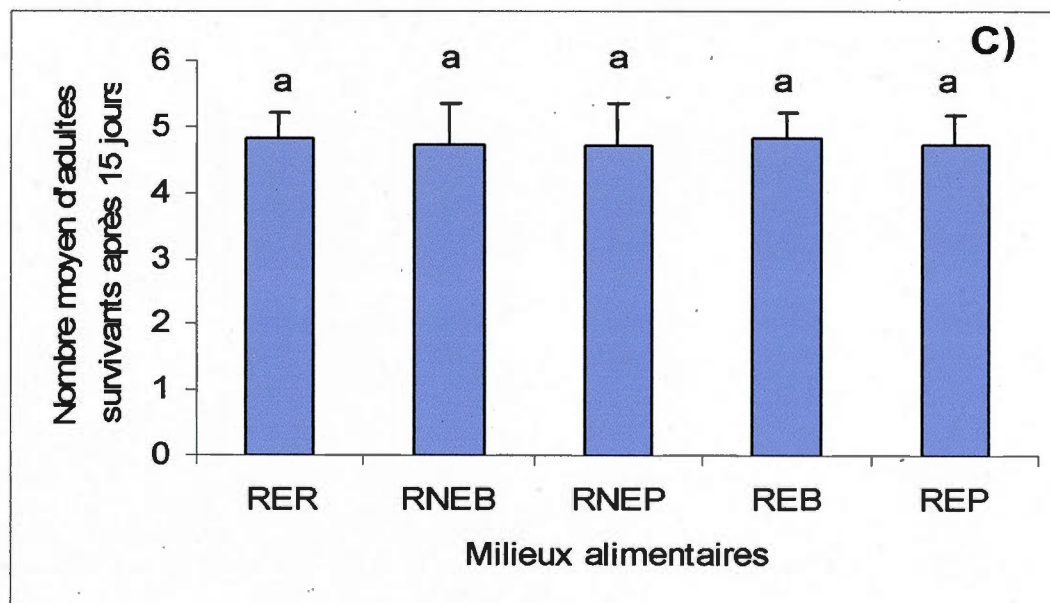


Figure 2.2



Figures 2.3

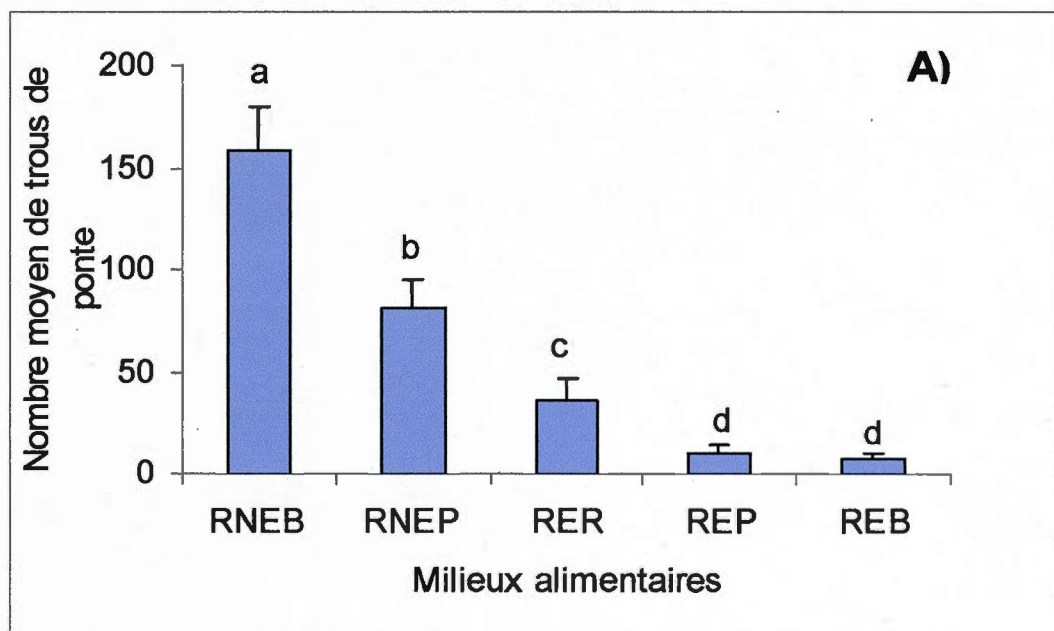


Figure 2.4

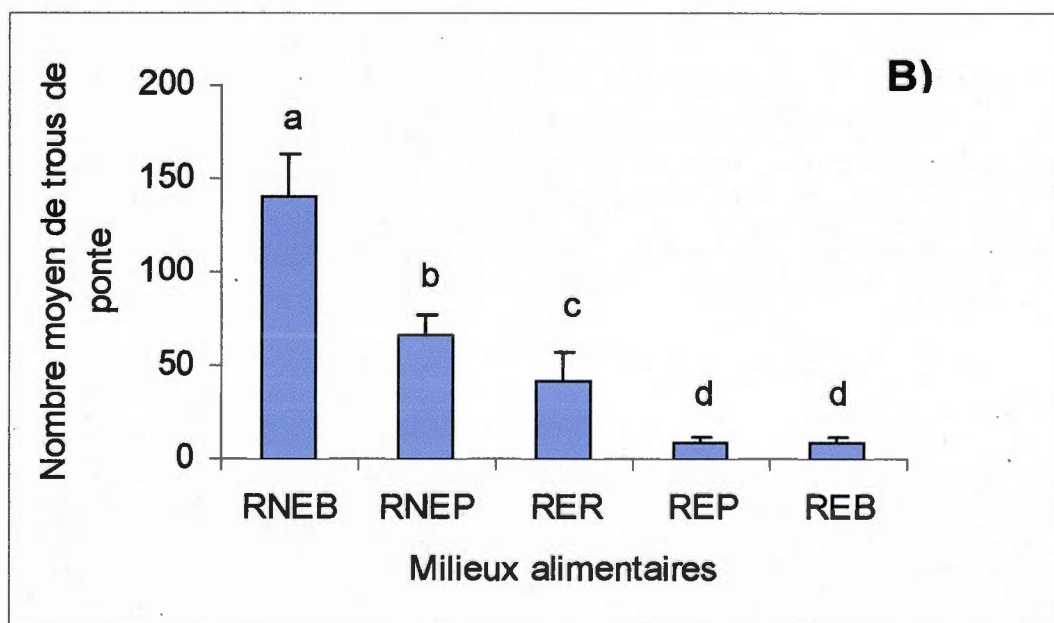


Figure 2.5

Tableau 2.1. Nombre moyen (N = 30 répétitions) d'adultes survivants selon les milieux RNEB, RNEP, REB, REP et RER

Temps		Nombre moyens (écart types) par milieu				
d'incubation	F					
(mois)	ANOVA	RNEB	RER	REB	RNEP	REP
Traitement 1 (<i>S.oryzae</i> seul)						
1	16,69	14,5 ^{a*}	19,66 ^a	5,53 ^b	ND	ND
		(8,27)	(12,77)	(6,64)		
2	55,30	43 ^a	42,93 ^a	4,33 ^b	ND	ND
		(16,37)	(22,45)	(6,08)		
3	240,95	158,8 ^a	152,1 ^a	12,96 ^b	13,63 ^b	3,8 ^b
		(42,32)	(42,73)	(14,17)	(10,8)	(4,40)
Traitement 2 (<i>S. oryzae</i> associé)						
1	21,70	16,36 ^{a*}	12,96 ^a	4,63 ^b	ND	ND
		(7,35)	(9,05)	(3,88)		
2	54,61	30,4 ^a	16,06 ^b	5,96 ^c	ND	ND
		(9,97)	(8,91)	(8,33)		
3	111,67	80,63 ^a	33,2 ^b	12,73 ^c	15,13 ^c	6,43 ^c
		(25,21)	(16,12)	(14,85)	(8,93)	(5,37)
Traitement 2 (<i>T. castaneum</i> associé)						
1	11,71	15,23 ^{a*}	10,5 ^b	8,46 ^b	ND	ND
		(3,98)	(5,24)	(7,02)		
2	89,55	29,3 ^a	14,5 ^b	6 ^c	ND	ND
		(5,39)	(8,85)	(5,66)		
3	101,45	45,36 ^a	44,13 ^a	21,33 ^b	7,1 ^c	5,4 ^c
		(12,06)	(16,29)	(8,58)	(6,40)	(5,28)

* Dans une ligne de chaque période d'incubation, les nombres moyens suivis d'une même lettre n'ont pas de différence significative selon le test de Tukey Kramer HSD au seuil ($p = 0,05$, $dl = 2/87$).

N.D. = Données non disponibles parce que les insectes restaient cachées sous les enveloppes.

CHAPITRE III

EFFETS DES POUDRES D'ARGILE AROMATISÉES AVEC LES HUILES ESSENTIELLES D'*OCIMUM BASILICUM* L., D'*OCIMUM GRATISSIMUM* L. ET DE *CYMBOPOGON CITRATUS* STAPH SUR *SITOPHILUS ORYZAE* L. ET *TRIBOLIUM* *CASTANEUM* HERBST DANS LES STOCKS DE RIZ.

Par

Aïssata CAMARA

Avec la collaboration de :

Charles VINCENT¹, Sékou Moussa KÉITA² et Michel RAYMOND³.

1. Centre de R&D en horticulture, Agriculture et agro-alimentaire Canada, 430 boul. Gouin,
Saint-Jean-sur-Richelieu, Qc, Canada J3B 3E6.

2. Université de Conakry, Centre d'Étude et de Recherche en environnement (CERE),
République de Guinée.

3. Département des sciences biologiques, Université du Québec à Montréal (UQAM), C.P.
8888, succursale Centre-Ville, Montréal, Qc, Canada H3C 3P8.

Ce chapitre est consacré à l'évaluation des huiles essentielles d'*Ocimum basilicum*, d'*Ocimum gratissimum*, et de *Cymbopogon citratus* appliquées dans les grains de riz sous forme de poudre d'argile aromatisée. La question était de savoir si les huiles extraites à partir de ces trois plantes locales, associées à l'argile blanche naturelle pourraient empêcher la prolifération de *S. oryzae* et de *T. castaneum* dans les stocks de riz entreposés dans les mêmes conditions du milieu. Ces poudres aromatisées ont été également mélangées aux riz étuvés pour évaluer l'efficacité de cette association.

Nous avons ainsi contribué à apporter des données de bases qui pourraient représenter une solution alternative à la lutte chimique pour la protection des stocks de riz.

RÉSUMÉ

La poudre d'argile blanche aromatisée avec les huiles essentielles extraites des feuilles d'*Ocimum basilicum* L. (Ob), d'*Ocimum gratissimum* L. (Og) et de *Cymbopogon citratus* Staph (Cc) a été testée dans trois milieux alimentaires : riz non étuvé blanc (RNEB), non étuvé paddy (RNEP) et étuvé blanc (REB) contre *Sitophilus oryzae* L et *Tribolium castaneum* Herbst en deux expériences. Pour la première expérience, les milieux alimentaires ont été d'abord infestés par les insectes puis conservés pendant 15 jours avant l'ajout des poudres aromatisées. Pour la seconde expérience, les milieux alimentaires ont été mélangés aux poudres puis, infestés immédiatement par les insectes dont 2 femelles de *S. oryzae*. Dans les deux expériences les insectes ajoutés ont été retirés après 15 jours. Avec RNEB, les résultats de la première expérience indiquent que les poudres d'Og et d'Ob réduisent significativement la prolifération de *S. oryzae*. Les nombres moyens d'adultes (82,93) et (97,66) obtenu après trois mois étaient les plus petits nombres significatifs par rapport à celui du témoin riz avec argile (123,2) et celui de Cc (118,16) non différents puis, de celui du riz seul (154,73) différent des deux derniers. Pour la seconde expérience, toutes les trois poudres ont réduit significativement la prolifération de *S. oryzae*. Les nombres moyens significatifs étaient de 7,26 pour Cc, 5,03 pour Ob et 2,13 pour Og alors que les témoins hébergeaient 154,73 et 123,2. Pour RNEP et REB, les résultats des deux expériences indiquent que les trois huiles essentielles ont un effet insecticide sur *S. oryzae*. Les adultes survivants ont été dénombrés seulement dans les témoins riz seul et riz avec argile. Aucun insecte n'a été dénombré dans les milieux aromatisés. Les mêmes résultats ont été observés chez *T. castaneum* dont les traitements aromatisés avaient les plus petits nombres moyens significatifs dans les deux expériences. Mais, à ce premier résultat s'ajoute la présence d'une grande quantité de larves de premier stade (de l'ordre de centaines par bocal) difficiles à dénombrer. Ceci met en évidence les effets combinés des huiles essentielles, de l'argile et de l'étuvage sur la survie et le développement des ravageurs.

Mots clés : Insectes, denrées stockées, Afrique, lutte biologique, Argile aromatisée, plantes pesticide, huiles essentielles, *Ocimum basilicum* L, *Ocimum gratissimum* L, *Cymbopogon citratus* Staph, *Sitophilus oryzae* L, *Tribolium castaneum* Herbs.

Ce chapitre est consacré à l'évaluation de la technique d'étuvage traditionnelle ayant peu de données scientifiques afin de valider son utilisation par les paysans comme solution alternative à la lutte chimique. La question de recherche était de savoir si cette technique pourrait avoir un effet sur la survie, la ponte et la prolifération de *Sitophilus oryzae* L. et de *Tribolium castaneum*, ravageurs importants des stocks de grains dans les pays chauds. Nous avons obtenu des informations de base comme contribution qui pourraient servir à la sensibilisation des populations paysannes et pour la vulgarisation de cette technique.

3.1 Introduction

Dans plusieurs pays à travers le monde, les paysans utilisent des substances végétales et minérales pour préserver leurs stocks de denrées alimentaires. Selon les habitudes alimentaires et les coutumes, les techniques utilisées varient d'une région à une autre, en fonction des substances disponibles. Au Cameroun par exemple, les feuilles de *Chenopodium ambrosioides* L et d'*Eucalyptus saligna* Smith sont couramment utilisées dans la protection du maïs, du niébé et du haricot (Tapondjou *et al.*, 2000). Au Niger ce sont les feuilles de *Hyptis specigera* Lam. qui sont utilisées en les mêlant au millet (Foua-Bi, 1993). Selon cet auteur, l'*Azadirachta indica* A. Juss. et l'*Annona senegalensis* Pers. sont souvent intercalées avec le niébé en couches basales ou apicales au Mali. Dans le cas des substances minérales, le même auteur rapporte que le sable, la chaux, les cendres des plantes brûlées et les argiles sont fréquemment utilisées.

De nombreux auteurs à la recherche d'insecticides efficaces, respectueux de l'environnement et de la santé humaine se sont penchés sur l'utilisation des substances traditionnelles. C'est le cas entre autre des travaux de Seri-Kouassi *et al.* (2004) sur les huiles essentielles de *Melaleuca quinquenervia* L, et *O. gratissimum* de l'Afrique occidentale contre *Callosobruchus maculatus* Fab.; des travaux de Tapondjou *et al.* (2003) sur les poudres et les huiles essentielles des feuilles de *C. ambrosioides* et d'*E. saligna* contre les bruches du niébé; de Gauvin *et al.* (2003) sur les effets insecticides d'Azadirachtine extraite d'*A. indica* contre les larves de *Drosophila melanogaster* Meigen; des travaux de Kobak *et al.* (2003) sur la composition chimique des extraits de *Cymbopogon citratus* Stapf., de *C. nardus* L. Rendle et *C. schoenanthus* L. Spreng.; de ceux effectués par Kéita *et al.* (2001) sur les poudres d'argile purifiées aromatisées par les huiles d'*Ocimum basilicum* L., d'*O. gratissimum* L. et de *Thuja occidentalis* L. contre les bruches du niébé; des travaux de Fields *et al.* (1997) sur la terre de diatomée dans la protection des grains; de ceux effectués par Gakuru et Foua-Bi (1996) sur les effets insecticides des extraits de plusieurs plantes sur les ravageurs du niébé; Il existe encore des substances naturelles utilisées dans la conservation des denrées alimentaires dont les

activités sont mal définies dans les situations réelles des stocks ainsi que sur d'autres ravageurs, en particulier *Sitophilus oryzae* L et *Tribolium castaneum* Herbst (Léonard, 2004; Kéita *et al.*, 2001). Par exemple, Munyuli (2003) a montré qu'il existe des plantes à propriétés insecticides utilisées dans les stocks qui sont incapables de contrôler les charançons, comme *Maeasa lanceolata* Forsk., *Agava americana* L. et *Tagetes minuta* L. récoltées à Kivu.

Ce survol partiel des recherches sur les substances naturelles montre que les plantes possèdent des propriétés variant de la répulsion à l'antiappétance et à la létalité contre les ennemis des stocks et que ces propriétés varient en fonction des constituants chimiques et de la sensibilité des ravageurs aux substances actives (Casida, 1990). L'hypothèse commune à ces recherches est que les substances naturelles empêchent la multiplication des ravageurs dans les denrées stockées.

Malgré ces nombreux travaux sur les substances naturelles, peu de résultats scientifiques concernent la protection des stocks de riz et encore moins n'abordent le système riz, *S. oryzae* et *T. castaneum* pourtant répandu en Afrique. Comme les paysans conservent leurs stocks de riz par ces méthodes traditionnelles, la présente étude a pour objectif d'évaluer les effets de la poudre d'argile naturelle aromatisée par les huiles essentielles d'*O. basilicum* (Ob), d'*O. gratissimum* (Og) et de *C. citratus* (Cc) sur *S. oryzae* et *T. castaneum*.

3.2 Matériel et méthode

3.2.1 Matériel biologique

➤ Matériel végétal

Les feuilles d'*O.basilicum*, d'*O. gratissimum* et de *C. citratus* ont été récoltées en février 2006 selon leur disponibilité à Coyah, Manéyah ou Gombonyah en République de Guinée. Le matériel récolté a été déposé immédiatement au laboratoire du Centre d'Étude et de Recherche en Environnement (CERE). Les feuilles ont été découpées, pesées et étalées en couches minces sur le sol pour le séchage à la température ambiante du laboratoire pendant 3 jours. Ce temps de séchage a été déterminé après un essai préliminaire effectué durant 7 jours sur les feuilles de *Cc* selon la démarche suivante : après les pesées, ces feuilles ont été réparties au hasard en 5 groupes de poids égal. L'extraction a débuté par le premier groupe après un jour de séchage et les autres groupes ont suivi jour après jour jusqu'au 4^{ème} jour. Le 5^{ème} groupe a été traité le 7^{ème} jour. La plus grande quantité d'huile essentielle a été obtenue au 3^{ème} jour (Figure 3.1). Par la suite, les feuilles deviennent plus sèches et les quantités d'huile essentielle diminuent, probablement à cause de l'évaporation.

➤ Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont été extraites des feuilles sèches par entraînement à la vapeur d'eau réalisée dans un système d'alambic (Kéita *et al.*, 2001). La matière végétale sèche a été déposée dans une casserole se fermant hermétiquement et communiquant avec un réfrigérant par un tuyau. L'ensemble (casserole, eau et feuilles séparées par une grille) a été porté à ébullition sur un réchaud électrique. La vapeur d'eau et les molécules aromatiques condensées ont été récupérées dans une ampoule à décanter. Les huiles surnageantes ont été récupérées par décantation et conservées dans des flacons opaques. Les rendements (*R*) en % ont été calculés à

partir de la masse de l'huile (mH) obtenue et de celle de la matière sèche (mS) avant l'extraction suivant la formule:

$$R = mH \times 100 / mS$$

Les huiles obtenues à partir des feuilles de chaque espèce végétale qu'elles aient été récoltées à Coyah, Manéah ou Gombonyah, ont été combinées pour les expériences (tableau 3.1):

➤ Élevage des Insectes

Les insectes (*S. oryzae* et *T. castaneum*) ont été collectés dans les champs du Centre de recherche agronomique de Foulaya en Guinée puis élevés sur maïs au laboratoire du Centre sur deux ou trois générations avant les expériences. Leur récupération a été faite après égrenage et tamisage des grains de maïs. Ces individus ont été placés dans des flacons de riz jusqu'à l'apparition des nouveaux adultes de la génération suivante qui ont été utilisés pour nos expériences. Les flacons ont été conservés à la température ambiante (28 à 30° C) dans un laboratoire de l'université de Conakry.

3.2.2 Préparation des poudres d'argile

➤ Analyse physico-chimique

La poudre d'argile utilisée provenait de Kamsar, République de Guinée. Elle a été choisie parmi trois types d'argile dont deux naturelles (argile rouge et blanche) et une industrielle purifiée (argile blanche purifiée). Ces trois argiles ont été soumises à des mesures de la conductivité, du pH et de la diffraction des rayons X pour l'identification des éléments minéraux. Ces analyses physico-chimiques ont été effectuées en collaboration avec les chercheurs du laboratoire du Département des sciences de la terre et de l'atmosphère à l'Université du Québec à Montréal (UQAM).

➤ Mesure de la conductivité et du pH des argiles

La conductivité et le pH des argiles ont été mesurés à l'aide d'un multimètre standardisé à $0,01\mu\text{S}$ de $\text{KCl} = 1413\mu\text{S}$ à 25°C , de marque WTW Multiline P4. Ces mesures ont été réalisées selon la méthode utilisée par la Société canadienne des sols (Henderson *et al.*, 1993). Pour chaque type d'argile, 10g de poudre sèche ont été déposés dans des béchers, puis 60 ml d'eau distillée y ont été ajoutés. Les mélanges ont été réalisés à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 30 minutes. Après une heure de repos du mélange, les électrodes ont été immergées dans les liquides surnageant pour une première lecture. Ensuite, les autres lectures ont été effectuées à chaque heure durant 3 heures. Une dernière lecture a été effectuée environ 8 h plus tard.

➤ Identification des constituants minéraux

Les minéraux contenus dans les différents types d'argile ont été identifiés après passage de chaque type d'argile aux rayons X. L'appareil utilisé pour cette identification était un diffractomètre Siemens D-5000, tube $\text{CuK}\alpha_{1,2}$, détecteur Si, le pas $0,01^\circ 2\theta$ et le temps de 0,5s par pas. L'analyse a été effectuée sur 100mg de chaque type d'argile.

➤ Procédure d'aromatisation de la poudre d'argile

Pour chaque extrait d'huile essentielle, nous avons transféré 2g de poudre d'argile dans un ballon de 100 ml en ajoutant 2ml d'huile essentielle puis, 5 ml de pentane. Le mélange a été homogénéisé avec un agitateur magnétique et le pentane a été évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif. Les poudres aromatisées ont été récupérées dans des fioles opaques qui ont été hermétiquement fermées avec du papier d'aluminium sous un couvercle afin d'exclure l'humidité et d'empêcher la photo dégradation. Dans le laboratoire, ce travail a été effectué en collaboration avec les chercheurs du département de chimie à l'UQAM.

3.2.3 Méthode expérimentale

Trois types de riz, soit les riz non étuvés blanc (RNEB), paddy (RNEP) et le riz étuvé blanc (REB) ont été utilisés comme milieux alimentaires pour deux expériences. La première expérience consistait à infester d'abord les milieux alimentaires, attendre 15 jours pour permettre la ponte et ajouter alors les poudres aromatisées aux milieux infestés après enlèvement des insectes adultes. Elle visait à simuler le traitement des milieux déjà infestés par les insectes. La seconde expérience consistait à mélanger d'abord les milieux alimentaires aux poudres aromatisées puis, à ajouter immédiatement les insectes au mélange. Elle visait à simuler la protection des milieux non infestés.

Pour la réalisation de ces travaux, nous avons préparé pour chaque milieu alimentaire 90 bocaux soit, 30 bocaux pour la poudre d'*Ob*, 30 pour celle d'*Og* et 30 pour celle de *Cc*. Un total de 270 bocaux a été ainsi préparé pour 3 milieux par expérience, soit 540 bocaux pour les deux expériences. Nous avons préparé 60 autres bocaux par milieux servant de témoins pour les deux expériences soit, 30 pour le riz seul et 30 pour le riz avec argile non aromatisée. Au total, il y avait 180 bocaux témoins pour les 3 milieux. La quantité de riz ajoutée par bocal était de 50g. Chaque bocal a été infesté par 5 insectes adultes par espèce dont au moins deux femelles de *S. oryzae*. Les insectes étaient âgés d'au plus 7 jours. La quantité de poudre aromatisée ajoutée était de 2g par bocal. L'entreposage a été effectué à la température ambiante du laboratoire entre 28-30° C. Le dénombrement des insectes émergés survivants a été effectué après 3 mois d'entreposage.

3.3 Analyses statistiques

La variable mesurée pour contrôler les effets des poudres aromatisées est le nombre d'adultes survivants émergés dans chaque milieu pour chaque expérience. Les données ont été traitées statistiquement par une analyse de variance (ANOVA) à un critère de classification au moyen du logiciel JMP IN version 5.1 (2003) pour Windows.

La normalité de la distribution des données a été confirmée. La comparaison des moyennes des différents milieux a été effectuée par le test de Tukey Kramer HSD au seuil de $p = 0,05$.

3.4 Résultats

3.4.1 Extraction des huiles

Les quantités d'huile obtenues étaient de : 24,7 ml pour *Ob*, 47,2ml pour *Og* et 65,9 ml pour *Cc* (Tableau 3.1). Les rendements variaient en fonction des espèces de plantes et des zones de récolte. Les meilleurs rendements moyens (1,46%) ont été obtenus avec les feuilles d'*Og*.

3.4.2 Analyse physico-chimique des argiles

Des variations ont été observées pour le pH et la conductivité, tant pour l'argile rouge que pour l'argile purifiée tandis que ceux de l'argile blanche sont demeurés stables (Tableau 3.2). Pour ce qui concerne la diffraction par rayon X, les résultats ont montré la présence de la kaolinite et du smectite comme éléments de base dans les trois types d'argile. La muscovite était présente seulement dans l'argile purifiée (Figure 3.2). Les smectites ont une importante capacité d'échange cationique et sont potentiellement intéressants comme supports d'adsorption pour les molécules d'intérêt agronomique ou pour les molécules polluantes (Chtourou *et al.*, 2005; Tahani *et al.*, 1999). Suite à ces analyses, nous avons choisi l'argile blanche pour nos expériences à cause de la stabilité de sa conductivité et de son pH d'une part, et d'autre part, à cause de la grande quantité de smectite qu'elle contient. De plus, cette argile est abondante en Guinée.

3.4.3 Résultats expérimentaux

➤ Expérience avec *S. oryzae*

Avec le milieu alimentaire RNEB, l'analyse de variance (ANOVA) a montré qu'il existe une différence significative pour la première expérience (milieux infestés 15 jours avant l'ajout des poudres aromatisées): $F = 17,60$; $p < 0,0001$ ddl = 4/145 et pour la deuxième expérience (milieux aromatisés et immédiatement infestés) $F = 274,08$; $p < 0,0001$ ddl = 4/145 (Tableau 3.3). Dans la première expérience, la différence se situe au niveau des traitements contenant les poudres d'*Ob* et d'*Og* qui avaient les plus petits nombres moyens significatifs de *S. oryzae* soit 97,66 et 82,93 par rapport aux témoins riz seul (154,73) et riz avec argile (123,2) également différents entre eux. En ce qui concerne la seconde expérience, la différence se situe entre d'une part, les trois traitements (*Og*, *Ob* et *Cc*) qui contenaient les plus petits nombres moyens et, d'autre part, les témoins, également différents entre eux.

Pour le milieu alimentaire RNEP, des différences significatives existent aussi pour les deux expériences ($F = 38,04$; $p < 0,0001$; ddl = 4/145) ainsi que pour les deux expériences du milieu REB ($F = 22,46$; $p < 0,0001$; ddl = 4/145) (Tableau 3.3). Ces différences se situent d'abord, entre les deux témoins riz seul et riz avec poudre d'argile dont les nombres moyens significatifs sont 13,63 et 7,8 pour RNEP et 12,96 et 6,90 pour REB ensuite entre ces derniers et les traitements où aucun adulte émergé survivant n'a été observé.

➤ Expérience avec *T. castaneum*

Avec le milieu alimentaire RNEB, l'ANOVA a montré qu'il existe une différence significative pour la première expérience : $F = 140,92$; $p < 0,0001$ ddl = 4/145) et pour la deuxième expérience : $F = 217,01$; $p < 0,0001$ ddl = 4/145 (Tableau 3.4). Dans le cas de la première expérience, la différence se situe d'abord entre les deux témoins riz seul (45,36) et riz avec argile (29,46) ensuite, entre ces témoins et les traitements avec *Ob* (3,56) et *Og*

(1,86) représentant les plus petits nombres moyens significatifs non différents entre eux. Des résultats similaires ont été observés pour l'expérience-2, dont les traitements *Cc* (5,83), *Ob* (2,13) et *Og* (1,7) sont significativement différents des témoins (Tableau 3.4).

Dans le cas du milieu alimentaire RNEP, des différences significatives existent aussi pour les deux expériences ($F_1 = 6,24$ et $F_2 = 9,88$ $p < 0,0001$; ddl = 4/145). Ces différences se situent entre les traitements avec *Og* (2,26) pour expérience-1 et (1,86) pour l'expérience-2 puis, entre eux et les témoins non différents entre eux.

Pour ce qui concerne les deux expériences du milieu alimentaire REB, l'analyse a montré qu'il y a une différence significative : $F_1 = 71,52$ et $F_2 = 89,78$; $p < 0,0001$; ddl = 4/145. Les différences se situent d'abord entre les témoins (21,33) pour riz seul et (9,93) riz avec argile et ensuite, entre les témoins et les traitements aromatisés non différents entre eux dans les deux expériences. En plus de ces données sur les adultes, s'ajoute la présence d'un grand nombre de larves de premier stade (de l'ordre de centaines par bocal) difficiles à dénombrer dans les différents traitements.

3.5 Discussion et conclusion

Nous avons constaté un effet insecticide dont l'ampleur variait selon les types de milieu, les types d'expériences, la nature des huiles essentielles et les espèces d'insectes. Dans le cas du milieu RNEB, les poudres les plus actives dans l'expérience-1 étaient celles d'*Ob* et d'*Og* alors que dans l'expérience-2 toutes les trois étaient actives. Quant aux deux témoins, le riz avec argile avait un effet significatif par rapport au témoin riz seul. Ceci met en évidence dans les deux expériences, l'effet combiné de l'argile et des huiles essentielles. Pour ce qui concerne le milieu REB, les poudres aromatisées ont été très actives et ont empêché la survie et la prolifération des ravageurs dans les deux expériences. Ceci met en évidence l'effet combiné de l'étuvage et des huiles essentielles.

Avec le milieu RNEP, toutes les poudres aromatisées ont montré les mêmes effets. Ceci peut être attribué non seulement à l'effet des huiles essentielles mais aussi à la capacité des insectes de se cacher dans les grains, ce qui rend leur dénombrement plus difficile. *S. oryzae* a été plus sensible aux poudres aromatisées que *T. castaneum*. La deuxième expérience (milieu infesté immédiatement après l'ajout des poudres) a montré un effet insecticide plus marqué.

Ces activités insecticides des huiles d'*Ob*, d'*Og*, de *Cc* ainsi que de l'argile ont été aussi mises en évidence par de nombreux auteurs sur les ravageurs du maïs, du niébé et du haricot. Selon Seri-Kouassi *et al.* (2004) par exemple, les huiles essentielles d'*Og* entraînent chez les femelles de *C. maculatus* une réduction très significative de la ponte par rapport au témoin. Les travaux de Semacumu et Kouahou (1996) sur les extraits étherés d'*Ob* contre *Callosobruchus maculatus* ont montré aussi un taux de mortalité de 86,3%. Kéita *et al.* (2001) ont montré également que l'application des poudres d'argile purifiée aromatisées par l'huile d'*Ob* avait des effets significatifs sur l'émergence des bruches adultes du niébé. Foua-Bi (1993) a montré aussi qu'un mélange de 3% de poudre d'argile aux grains provoquait une mortalité élevée chez *Callosobruchus sinensis*, *T. castaneum*, *S. oryzae*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Rhizopertha dominica* F et *Lasioderma serricornis* F. Ofuya (1990) a observé sur la poudre de feuilles d'*Og*, une activité ovicide chez les bruches du niébé.

Nos résultats obtenus avec l'argile naturelle aromatisée par des huiles extraites par entraînement à la vapeur d'eau sur *S. oryzae* et *T. castaneum* dans les stocks de riz sont similaires à ceux obtenus par ces auteurs sur d'autres systèmes (insectes des denrées stockées). Ces résultats sur différentes espèces de ravageurs des stocks montrent alors la diversité d'action des trois huiles essentielles (*Ob*, *Og* et *Cc*) dans les stocks alimentaires. Ils indiquent en plus, le bien fondé de leur utilisation traditionnelle par les paysans. La généralisation de l'utilisation de la poudre d'argile blanche naturelle aromatisée par les huiles essentielles de ces plantes dans les pays en développement pourrait représenter une solution alternative à la lutte chimique pour la protection des stocks de riz.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée grâce au support financier et matériel du programme de bourse de la francophonie (PCBF). Nous remercions les autorités de l'université de Conakry, du Centre d'Études et Recherche en Environnement (CERE), pour leur soutien matériel. Nos remerciements vont également à Denise Fontaine, géologue et à Michel Preda géologue et responsable du laboratoire de diffraction des rayons X tous deux au Département des sciences de la terre et de l'atmosphère de l'UQAM, pour leur participation aux travaux d'analyse de l'argile, au Dr Mohamed du laboratoire du département de chimie de l'UQAM pour sa participation aux procédures d'aromatisation des argiles, au Dr Traoré du laboratoire des sciences agronomiques de Kindia pour sa participation à la culture des insectes utilisés, au Dr Eric Lucas et ses étudiants au département des sciences biologiques de l'UQAM pour leur participation aux travaux de bio essai, à Mme Geneviève Patterson et M. Livain Breau tous deux du Département de chimie de l'UQAM pour leur soutien matériel et enfin aux villageois et villageoises particulièrement à Madame Hadja Mamadi Sakho pour leur participation à l'achat et la préparation des échantillons de riz, la localisation, la récolte et le transport des feuilles au laboratoire.

BIBLIOGRAPHIE

- Casida, J.H. 1990. «Pesticide mode of action, evidence for implications of a finite number of biochemical targets». In: Casida J.E., (éd.) *Pesticides and Alternatives. Innovative Chemical and Biological Approaches to Pest Control*. Amsterdam. Elsevier, 11-22.
- Chtourou, M., Baklouti, S., Trabel, S., Frikha, M.H. 2005. *Propriétés physico chimiques et rhéologiques d'agents épaississants préparés à partir d'argiles Tunisiennes*. Annales de chimie, France, 3 : 277-287.
- Fields, P.G., Dowdy, A. et Marcotte, M. 1997. «Lutte contre les ravageurs des constructions: utilisation d'un produit de terre de diatomées améliorée conjuguée à un traitement thermique pour combattre les insectes nuisibles dans les installations de transformation des aliments». *Agriculture et Agroalimentaire Canada*, 38 p.
- Foua-Bi, K. 1993. «Protection naturelle des végétaux en Afrique : produits naturels utilisés dans la préservation des stocks en Afrique noire». *Enda tiers-monde*, Dakar, 84-100.
- Gauvin, M.-J., Bélanger, A., Nébié, R. et Boivin, G. 2003. «Azadirachta indica : l'azadiractine est-elle le seul ingrédient actif?». *Phytoprotection*, 84 :115-119.
- Gakuru, S. et Foua-Bi, K. 1996. Effet d'extraits de plantes sur la bruche du niébé (*Callosobruchus maculatus* Fab) et le charançon du riz (*Sitophilus oryzae* L.)). *Cahiers Agricultures*, 5 : 39- 42.
- Henderson, W.H., Lalande, H. et Duquette, M. 1993. «Soil Reaction and Exchangeable Acidity». *Soil sci. Soc.*, 141-143.
- JMP IN 5.1 Windows. 2003. «USER'S Guide Starting, Creating, Opening and Saving Data». *Academic Product SAS, Institute Inc.USA*.
- Kéita, S.M., Vincent, C., Schmit, J.P., Arnason, J.T., Bélanger, A. 2001. «Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an insecticidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera: Bruchidae)». *J. Stored Prod. Res.*, 37:339-349.
- Kobak, K., Sanda, K., Raynaud, C., Mandin, D., Millet, J., Chaumont, J.P. 2003. «Activités antimicrobiennes des huiles essentielles *Cymbopogon citratus* Stapf., *C. nardus* L. Rendle et *C. Schoenanthus* L Spreng». *J. Mycol. Méd.*, 13 : 175-185.
- Léonard, S.T.N. 2004. «A la recherche d'une alternative aux polluants organiques persistants». In *Bul. D'information Phytosanitaire- Phytosanitary News Bulletin*. 43; Avril - juin 2004.

- Munyuli Théodore, B.M, 2003. «Effet de différentes poudres végétales sur l'infestation des semences de légumineuses et de céréales au cours de la conservation au Kivu (République démocratique du Congo)». *Agriculture*, 12 : 23-31.
- Ofuya. 1990. «Oviposition deterrence and ovicidal properties of some plants powders against *Callosobruchus maculatus* F. in stored cowpea *Vigna unguiculata* seeds». *J. Agric. Sc. Camb*, 115 : 343-345.
- Semacumu, G. et Kouahou, F.B. 1996. «Effets d'extraits de plantes sur la bruche du niébé (*Callosobruchus maculatus* Fab) et le charançon du riz (*Sitophilus orizae* L.)». *Cahiers Agricultures*, 5 : 39 - 42.
- Seri-Kouassi, P.B., Kanko, C., Aboua, N.L.R., Bekon, A.K., Glitho, I.A, Koukoua, G. et N'Guessan, T.Y. 2004. «Action des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de Côte-d'Ivoire sur *Callosobruchus maculatus* Fab. du niébé». *C. R. Chimie*, 7 : 1043-1046.
- Tahani, A., Karroua, M., Elfarissi, M., Levitz, P., VanDamme, H., Rergaya, F., Margulies, L. 1999. «Adsorption of Phenol Chlorine Derivatives on PILCS and Organo-PILCS». *J. Chem. Phys.*, 3: 464-469.
- Tapondjou, A.L., Cornel, A., Hamilton B., Dominic, A. F. 2003. «Bioefficacité des poudres et des huiles essentielles des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* L. et *Eucalyptus saligna* Smith à l'égard de la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera, Bruchidae)». *Cahier d'études et de recherches francophones/Agricultures*, 12 : 6 : 401-7.
- Tapondjou, A.L., Bouda, H., Fontem, D.A., Zapfack, L., Lontsi, D., Sondengam, B.L. 2000. «Local plants used for traditional stored product protection in the Menoua Division of western highlands of Cameroon». *J. Stored. Prod. /IOBC Bulletin*, 2000, 23 : 73-77.

LÉGENDE DES FIGURES

Figure 3.1 : Détermination du temps de séchage en fonction de la quantité d'huile obtenue.

Figure 3.2 : Identification des constituants minéraux (présence du kaolinite, muscovite et smectite dans l'argile blanc) par rayon X.

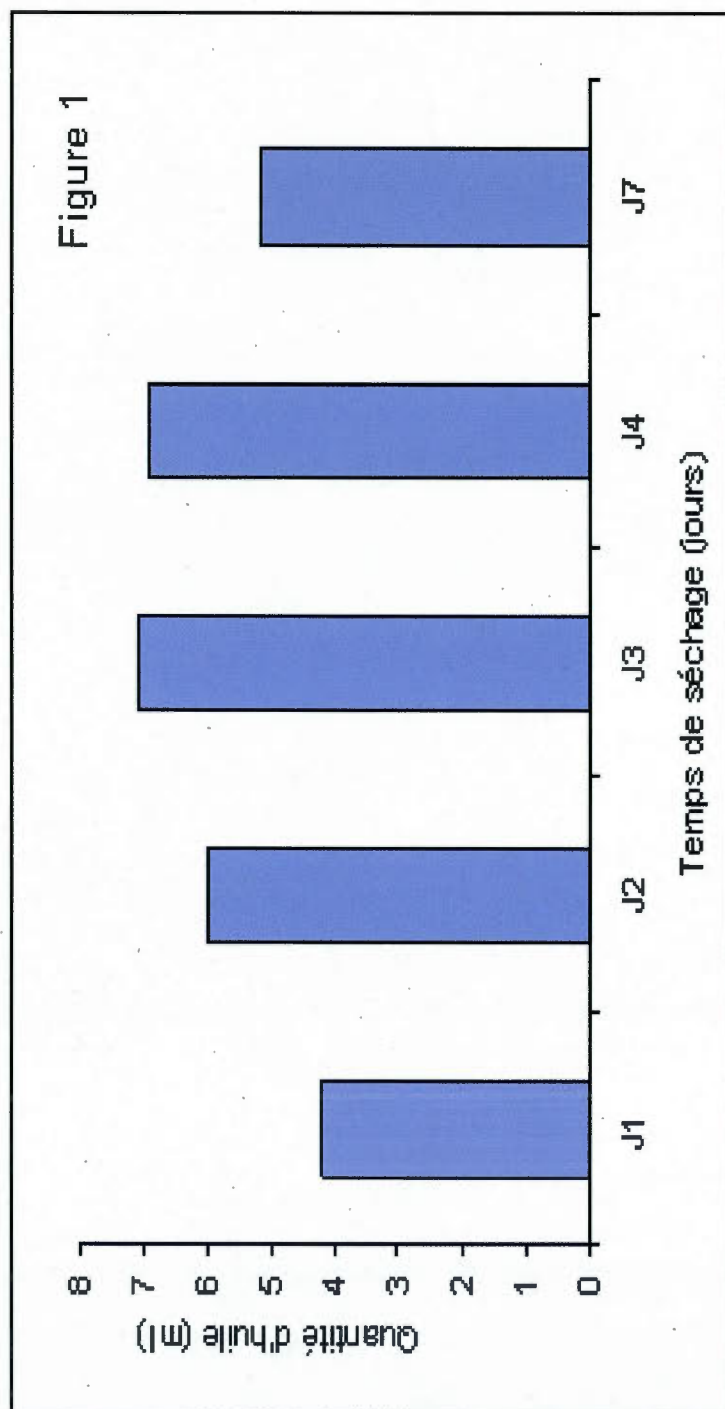


Figure 3.1

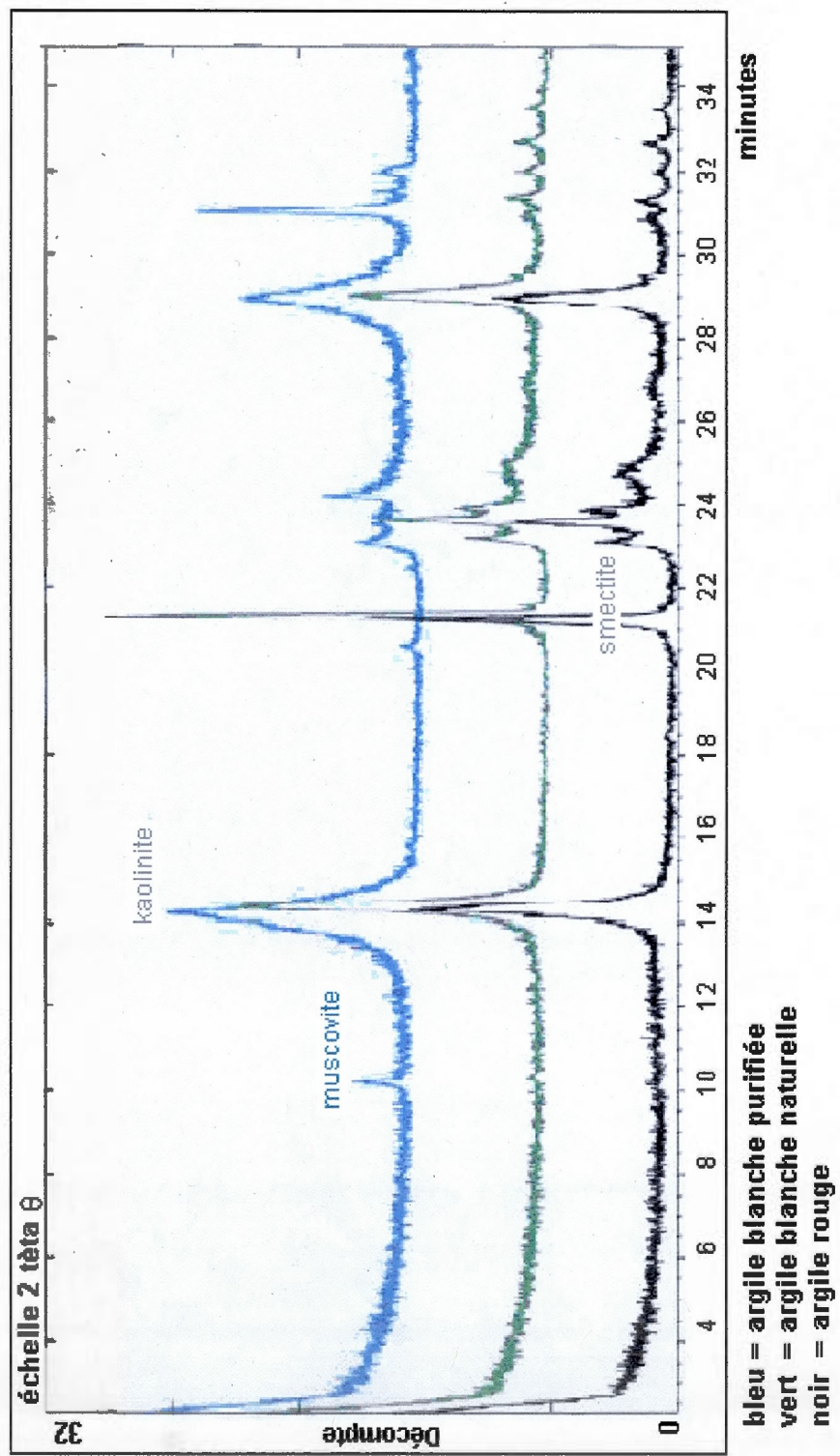


Figure 3.2

Tableau 3.1. Rendement en huiles essentielles des feuilles récoltées en février 2006 en Guinée

Espèces végétales	Zones de récolte	Quantité matière fraîche (g)	Quantité matière sèche (g)	Quantité huile (ml)	Poids huile (g)	Rendement %
<i>Ocimum basilicum</i>	Coyah	8500	3850	16,5	14,62	0,38
	Gombonyah	7856	2900	8,2	5,12	0,18
	Coyah + Gombonyah	16356	6750	24,7	19,74	0,29
<i>Ocimum gratissimum</i>	Manéah	6500	2300	42	34,93	1,51
	Gombonyah	2900	450	5,2	5,23	1,16
	Manéah + Gombonyah	9400	2750	47,2	40,16	1,46
<i>Cymbopogon citratus</i>	Manéah	6250	1900	26,9	22,79	1,20
	Coyah	9934	4750	39,0	32,06	0,68
	Manéah + Coyah	16184	6650	65,9	54,85	0,82

Tableau 3.2. Conductivité et pH moyens (écart type) pour les différents types d'argiles (n =5)

Types d'argile	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH
Argile rouge	17 (6,51)	5,45 (0,01)
Argile blanche	21 (0,00)	5,13 (0,00)
Argile purifiée	41 (9,30)	5,34 (0,42)

Tableau 3.3. Nombre moyen (écart type) de *S. oryzae* survivants dans RNEB, RNEP et REB (N = 30 répétitions)

Témoins et traitements	Première expérience (milieux infestés avant l'ajout des poudres)		Deuxième expérience (milieux immédiatement infestés après l'ajout des poudres)	
	RNEB	RNEP	REB	REB
Riz seul (T-riz)	154,73 ^{a*} (940,7)	13,63 ^a (10,89)	12,96 ^a (10,53)	13,63 ^a (10,89)
Riz + argile (T-p)	123,2 ^b (37,05)	7,8 ^b (5,81)	6,9 ^b (4,46)	7,8 ^b (5,81)
Riz + poudreCc	118,16 ^b (36,68)	0 ^c (0,00)	0 ^c (0,00)	0 ^c (0,00)
Riz + poudreOb	97,66 ^c (34,9)	0 ^c (0,00)	0 ^c (0,00)	0 ^c (0,00)
Riz + poudreOg	82,93 ^c (28,5)	0 ^c (0,00)	0 ^c (0,00)	0 ^c (0,00)

* Dans une colonne, les nombres moyens suivis d'une même lettre n'ont pas de différence significative selon le test de T Tukey Kramer HSD au seuil de (p = 0,05).

T Riz seul (T-riz) = riz témoin non associé aux poudres, Riz + argile (T-p) = riz témoin associé à la poudre d'argile non aromatisé, Riz + poudreCc = riz associé à la poudre de *Cymbopogon citratus*, Riz + PoudreOb = riz associé à la poudre d'*Ocimum basilicum*, Riz + PoudreOg = riz associé à la poudre d'*Ocimum gratissimum*.

Tableau 3.4. Nombre moyen (écart type) de *T. castaneum* survivants dans RNEB, RNEP, REB (N= 30 répétitions)

Témoins et traitements	Première expérience (milieux infestés avant l'ajout des poudres)			Deuxième expérience (milieux immédiatement infestés après l'ajout des poudres)		
	RNEB	RNEP	REB	RNEB	RNEP	REB
Riz seul (T-riz)	45,36 ^{a*} (12,06)	7,1 ^a (6,40)	21,33 ^a (8,58)	45,36 ^a (12,06)	7,1 ^a (6,40)	21,33 ^a (8,58)
Riz + argile (T-p)	29,46 ^b (9,52)	6,56 ^a (5,30)	9,93 ^b (4,97)	29,46 ^b (9,52)	6,56 ^a (5,30)	9,93 ^b (4,97)
Riz + poudreCc	27,13 ^b (10,86)	6,10 ^a (4,27)	5,2 ^c (4,19)	5,83 ^c (4,89)	4,86 ^{ab} (1,61)	3,93 ^c (1,36)
Riz + poudreOb	3,56 ^c (2,76)	4,20 ^{a b} (2,23)	3,33 ^c (1,66)	2,13 ^c (1,73)	2,86 ^{bc} (2,16)	3,23 ^c (2,06)
Riz + poudreOg	1,86 ^c (1,75)	2,26 ^b (1,70)	2,80 ^c (2,29)	1,7 ^c (1,66)	1,86 ^c (1,38)	1,96 ^c (1,67)

* Dans une colonne, les nombres moyens suivis d'une même lettre n'ont pas de différence significative selon le test de Tukey Kramer HSD au seuil de (p = 0,05).

Riz seul (T-riz) = riz témoin non associé aux poudres, Riz + argile (T-p) = riz témoin associé à la poudre d'argile non aromatisé, Riz + poudreCc = riz associé à la poudre de *Cymbopogon citratus*, Riz + PoudreOb = riz associé à la poudre d'*Ocimum basilicum*, Riz + PoudreOg = riz associé à la poudre d'*Ocimum gratissimum*.

CHAPITRE IV

EFFET INSECTICIDE DES HUILES ESSENTIELLES D'*OCIMUM BASILICUM* L, D'*OCIMUM GRATISSIMUM* L ET DE *CYMBOPOGON CITRATUS* STAPH PAR FUMIGATION CONTRE *SITOPHILUS ORYZAE* L ET *TRIBOLIUM CASTANEUM* HERBST.

Par

Aïssata CAMARA

Avec la collaboration de :

Charles VINCENT¹, Sékou Moussa KÉITA² et Michel RAYMOND³

1. Centre de R&D en horticulture, Agriculture et agro-alimentaire Canada, 430 boul. Gouin, Saint-Jean-sur-Richelieu, Qc, Canada J3B 3E6.

2. Université de Conakry, Centre d'Étude et de Recherche en environnement (CERE), République de Guinée.

3. Département des sciences biologiques, Université du Québec à Montréal (UQAM), C.P. 8888, succursale Centre-Ville, Montréal, Qc, Canada H3C 3P8.

Ce chapitre est consacré à l'évaluation des effets des huiles essentielles d'*Ocimum basilicum*, d'*Ocimum gratissimum* et de *Cymbopogon citratus* sur la survie des adultes de *S. oryzae* et de *T. castaneum* par fumigation après leur évaluation sous forme de poudres aromatisées dans les grains.

RÉSUMÉ

Les huiles essentielles extraites par entraînement à la vapeur d'eau des feuilles d'*Ocimum basilicum* L (Ob), d'*Ocimum gratissimum* L (Og) et de *Cymbopogon citratus* Stapf (Cc) de Guinée ont été testées pour évaluer leur pouvoir insecticide contre *Sitophilus oryzae* L. et *Tribolium castaneum* Herbst. Cette évaluation a été effectuée par diffusion de différents volumes d'huile dans des tubes à essai en deux expériences. L'expérience 1 a été réalisée avec des volumes de 10 à 100µl tandis que des volumes de 2 à 100µl ont été utilisés pour l'expérience 2. Les tests ont été effectués sur 10 insectes non sexés, dont cinq par espèce pour chacun des volumes. Les huiles d'Ob et d'Og ont eu des activités insecticides contre les deux ravageurs qui étaient fonction de la nature des huiles, des des volumes utilisés, du temps et des espèces d'insectes. L'huile de Cc n'a provoqué aucune mortalité durant les 6 jours de l'expérience. Pour les huiles d'Ob et d'Og, les mortalités supérieures ou égales à 50% ont été obtenues à partir des jours 3 et 4. Des différences significatives existaient entre les volumes utilisés à partir du jour 3 au jour 6 pour les deux expériences en fonction du temps. Les CL₅₀ et CL₉₀ d'Ob contre *S. oryzae*, du jour 4 au jour 6 variaient respectivement de 71,4 à 5,9µl/insecte et de 389,9 à 46,5µl/insecte. Avec *T. castaneum*, les données n'étaient disponibles qu'au jour 6. Pour l'huile d'Og, les volumes contre *S. oryzae* variaient de 26,5 à 7,5µl/insecte et de 76,1 à 50µl/insecte. Avec *T. castaneum*, elles variaient de 35,1 à 8,7µl/insecte et de 107,6 à 75,4µl/insecte. Les deux insectes ont été sensibles aux activités d'Og tandis que *T. castaneum* a été moins sensible aux concentrations d'Ob. L'huile de Cc pourrait tout de même avoir une action répulsive puisque les insectes cherchaient à s'échapper des tubes lorsqu'exposés à son odeur. Les trois huiles étudiées, utilisées comme fumigeant dans les stocks de grains pourraient donc représenter une solution alternative à la lutte chimique.

Mots-clés : Insectes, denrées stockées, Afrique, lutte biologique, plantes pesticide, huiles essentielles, *Ocimum basilicum* L, *Ocimum gratissimum* L, *Cymbopogon citratus* Stapf, *Sitophilus oryzae* L., *Tribolium castaneum* Herbst.

4.1 Introduction

L'utilisation de plantes chargées de produits volatils pour la protection des stocks de grains est une pratique paysanne connue par les peuples africains depuis des siècles (Weaver *et al.*, 1991). Les denrées les plus importantes pour les producteurs sont généralement stockées en épis au-dessus des foyers domestiques pour les enfumer en permanence avec la fumée provenant des bois brûlés de plusieurs plantes insectifuges ou insecticides chargés en produits volatils. C'est le cas par exemple des bois de Karité (*Butyrospermum parkii* (G.Don) Kotschy.) et de Caïcedrat (*Khaya sénégaleensis* (Desr.) A. Jus.) utilisés en Gambie et au Moyen Orient (Stoll, 1988).

Les producteurs utilisent aussi les cendres ou les feuilles des plantes aromatiques en les mélangeant aux grains comme les feuilles de *Azadirachta indica* A. Just, de *Euphorbia balsamifera* Aiton., de *Annona senegalensis* Pers. et de *Boscia senegalensis* Pers. dans les stocks de légumineuses des paysans de plusieurs pays comme le Mali et le Niger (Maïga, 1987). Les huiles végétales, comme celle de coco, de palme et de sésame, sont également utilisées dans la protection des stocks de céréales ou de légumineuses (Messina et Renwick, 1983).

D'après Cseke et Kaufman (1999), les huiles essentielles végétales sont des métabolites secondaires sécrétés par les plantes comme moyens de défense contre les ravageurs phytophages. En laboratoire, des huiles végétales ont été testées par de nombreux auteurs comme Teugwa *et al.* (2002), Gakuru et Foua-Bi (1996), Morallo et Tantengco (1986) contre les ravageurs des denrées en stockage.

Selon Sanon *et al.* (2002), les huiles essentielles agissent souvent comme neurotoxines chez les arthropodes. Toutefois, certaines de ces huiles n'ont pas eu d'effet sur *S. oryzae* comme celle de *Maeasa lanceolata* Forssk., *Agava americana* L. et *Tagetes minuta* L. (Munyuli, 2003), ainsi que sur *T. castaneum* comme celle d'*Ocimum gratissimum* L., de *Xylopi aethiopica* Dunal A. Rich., de *Annona senegalensis* L., de *Lippia rugosa* et d'*Hyptis spicigera* Lam. (Kouninkie *et al.*, 2007). Selon Kim *et al.* (2003) et Nkouka (1995), les effets toxiques des extraits des plantes sont fonction de l'espèce de plante, de la dose du produit utilisé, de l'espèce d'insecte et aussi du temps d'exposition aux produits. Les effets de *Ocimum basilicum* L. (*Ob*), et de *Ocimum gratissimum* L. (*Og*) ont été déjà évalués par fumigation sur *Callosobruchus maculatus* F. du niébé dans le système de post-récolte en Guinée (Kéita *et al.*, 2001). Ces derniers ont aussi suggéré d'évaluer des insecticides botaniques sur *S. oryzae*, insecte responsable de grandes pertes économiques, et sur d'autres insectes des stocks en Guinée.

Dans cette optique, nous avons entrepris d'évaluer les effets insecticides de trois huiles essentielles, à savoir l'huile d'*Ob*, d'*Og* et de *Cymbopogon citratus* Stapf (*Cc*), par fumigation contre *S. oryzae* L. et *T. castaneum* Herbst. L'hypothèse est que ces huiles peuvent avoir un effet toxique ou répulsif contre ces ravageurs. Notre objectif est de valider leur utilisation par les paysans comme outil de lutte écologiquement et économiquement viable pour la protection des denrées en post-récolte, particulièrement le riz.

4.2 Matériel et méthode

4.2.1 Matériel biologique

➤ Préparation du matériel végétal

Les feuilles d'*O. basilicum*, d'*O. gratissimum* et de *C. citratus* ont été récoltées en juin 2007 à Coyah, Manéyah et Gombonya en République de Guinée. Le matériel récolté a été déposé immédiatement au laboratoire du Centre d'Étude et de Recherche en Environnement (CERE). Les feuilles de chaque espèce végétale ont été mélangées, découpées, pesées et étalées en couches minces sur le sol pour le séchage durant 3 jours à la température ambiante du laboratoire.

➤ Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont été extraites des feuilles sèches par entraînement à la vapeur d'eau réalisée dans un système d'alambic (Kéita *et al.*, 2001). La matière végétale sèche a été déposée dans une cocote-minute communiquant avec un réfrigérant par un tuyau. L'ensemble (cocote-minute, feuilles et eau séparées par une grille) a été porté à ébullition sur un réchaud électrique. La vapeur d'eau et les molécules aromatiques condensées ont été récupérées dans une ampoule à décanner. Les huiles surnageantes ont été récupérées par décantation et conservées dans des flacons opaques. Les rendements (*R*) en % ont été calculés à partir de la masse de l'huile (*mH*) obtenue et de celle de la matière sèche (*mS*) avant l'extraction suivant la formule qui suit :

$$R = mH \times 100 / mS$$

➤ Élevage des insectes

Les insectes (*Sitophilus oryzae* et *Tribolium castaneum*) ont été collectés dans les champs du centre de recherche agronomique de Foulayah en Guinée puis élevés sur maïs au laboratoire du Centre sur 2 ou 3 générations avant les expériences. Leur récupération a été faite après égrenage et tamisage des grains de maïs. Ces individus ont été placés dans des flacons de riz jusqu'à l'apparition des nouveaux adultes de la génération suivante qui ont été utilisés pour nos expériences. Ces flacons ont été conservés à la température ambiante (28 à 30° C) dans un laboratoire du CÉRE en Guinée.

4.2.2 Méthode expérimentale

Les effets des huiles essentielles d'*O. basilicum*, d'*O. gratissimum* et de *C. citratus* ont été évalués par diffusion des huiles essentielles à différentes concentrations sur les insectes adultes dans des tubes cylindriques en verre de 6,5cm de long et de 1,7cm de diamètre en deux expériences. Suite à des essais préliminaires, la première expérience a porté sur des concentrations de 10, 20, 40, 80 et 100µl en 3 répétitions. Les résultats de cette première expérience n'ayant pas été complètement concluants, du moins pour la détermination de la CL₅₀ et de la CL₉₀, nous avons entrepris une deuxième expérience avec des concentrations de 2, 4, 6, 8, 10, 20, 40, 80 et 100 µl en 5 répétitions par concentration. Les volumes des huiles ont été mesurées à l'aide de deux micros seringues Hamilton de 250 µl réglées à 2 et 5 µl par jet.

Le montage expérimental comportait deux tubes superposés. Le tube supérieur contenait les insectes et le tube inférieur, l'huile essentielle. L'ouverture du tube contenant les insectes a été recouverte avec un morceau de toile de moustiquaire maintenu par un élastique empêchant le passage des insectes vers le tube inférieur et permettant la circulation des molécules volatiles vers le tube supérieur.

Pour l'expérience 1, trois montages ont été préparés pour chaque concentration et pour chaque huile essentielle. En plus, trois autres montages ont été préparés pour servir de témoin. Au total, 48 montages pour les trois types d'huile. Pour l'expérience 2, cinq montages ont été préparés par concentration, plus cinq autres montages servant de témoins. Il y avait en tout, 45 montages par huile essentielle, soit 135 montages pour les trois huiles, au total 140 montages pour l'expérience.

Chaque montage a reçu 10 insectes adultes, dont cinq par espèce non sexé. Dans le cas des montages témoins, les tubes inférieurs devant contenir les huiles essentielles ont été maintenus vides. L'ensemble des flacons a été gardé dans les conditions du laboratoire (28-30° C) et le contrôle des mortalités a été effectué à toutes les 3 heures, chaque jour, pendant 6 jours. Nous avons arrêté les expériences au jour 6 parce que nous avons commencé à observer des adultes morts dans les tubes témoins au-delà de cette période. Ceci nous a amené à conclure que les mortalités observées après 6 jours d'exposition ne pourraient pas être dues seulement aux effets des huiles.

4.3 Analyses statistiques

Pour estimer les effets insecticides des huiles essentielles, une analyse probit a été effectuée avec le nombre d'insectes morts en fonction des concentrations à l'aide du logiciel Polo PC (LeOra Software, 1994 ; Robertson et Preisler, 1992). Étant donné le contexte agronomique de notre travail, les CL_{50} et les CL_{90} ont été retenues comme critère de performance des insecticides. La CL_{90} a été choisie parce que dans un contexte de post-récolte, une grande proportion d'insectes doit être éliminée pour assurer une conservation prolongée des récoltes. Selon Robertson et Preisler (1992), trois conditions doivent être remplies pour valider l'analyse probit : l'intervalle de confiance de la moyenne doit être > 1.0 (test de g), le test de χ^2 doit avoir un $p > 0,05$ et le t-ratio doit être supérieur à 1,96 pour montrer la linéarité de la réponse probit.

Les données ont été traitées par analyse de variance (ANOVA) à un critère de classification au moyen du logiciel JMP IN version 5.1 (2003) pour Windows. La normalité de la distribution des données a été confirmée et la comparaison des moyennes a été effectuée par le test de Tukey Kramer HSD au seuil de $p = 0,05$.

4.4 Résultats

4.4.1 Extraction des huiles essentielles

Les quantités d'huile extraites étaient de 21,89 ml pour *Ob*, 37,40ml pour *Og* et 70,24ml pour *Cc* (Tableau 4.1). Les rendements variaient en fonction des espèces de plantes et des zones de récolte et étaient pratiquement les mêmes que ceux obtenus lors de la récolte de 2006 (Camara *et al.*, 2008). Le meilleur rendement moyen (1,45 %) a été obtenu avec les feuilles d'*Og*.

4.4.2 Activité des huiles en fonction du temps

Les résultats concernant les huiles d'*O. basilicum* et d'*O. gratissimum* ont montré que les mortalités supérieures ou égales à 50% n'ont été obtenues qu'après 3 ou 4 jours d'exposition dans les deux expériences. Pour l'expérience 1 avec *S. oryzae* sous l'effet d'*Ob* (Figure 4.1), il y avait une différence significative entre les différents volumes utilisés pour les jours 3 à 6 (ANOVA) : $F = 19,52$ au jour 3; $F = 28,00$ au jour 4; $F = 35,35$ au jour 5 et $F = 32,31$ au jour 6; $P < 0,0001$, ddl = 5/24. Au jour 3, la différence se situe seulement au niveau du volume 100 μ l.

Au jour 4, les nombres moyens d'insectes morts obtenus pour les volumes de 40, 80 et 100 μ l étaient non différents entre eux mais, significativement différents de ceux des volumes de 10, 20 μ l et du témoin. Au jour 5, le nombre moyen pour les volumes de 100 μ l était significativement différent de ceux des volumes de 20, 40, 80 μ l. Les nombres moyens pour les volumes de 20, 40, 80 μ l étaient significativement différents de ceux des volumes de 10 μ l et du témoin. Au jour 6, les nombres moyens pour les volumes de 40, 80 et 100 μ l étaient non différents entre eux et significativement différents de ceux des volumes de 20 et 10 μ l non différents entre eux, mais différents de ceux du témoin.

Avec *T. castaneum* sous l'effet d'*Ob*, il n'y avait aucune différence significative entre les différents volumes durant les 6 jours d'exposition (Figure 4.2). Pour l'expérience 2, des résultats similaires ont été obtenus également pour les volumes allant de 10 à 100 μ l.

Avec l'huile d'*Og*, des mortalités supérieures à 50% ont été obtenues après 3 jours d'exposition pour les volumes de 80 et 100 μ l chez *S. oryzae* et *T. castaneum* : (Figures 4.3) *S. oryzae*, $F_1 = 92,60$ au jour 3; $F_2 = 125,32$ au jour 4; $F_3 = 84,70$ au jour 5 et $F_4 = 60,98$ au jour 6; ddl = 5/24 (Figure 4.4) *T. castaneum*, $F_1 = 35,01$ au jour 3; $F_2 = 97,17$ au jour 4; $F_3 = 112,61$ au jour 5; $F_4 = 162,60$ au jour 6 avec $P < 0,0001$ et ddl = 5/24.

Avec *S. oryzae*, les nombres moyens d'insectes morts obtenus pour les volumes de 80 et 100 μ l aux jours 3 et 4 étaient significativement différents de ceux obtenus pour les volumes de 40 μ l qui étaient aussi significativement différents de ceux obtenus pour les volumes de 20 et 10 μ l, non différents entre eux mais différents de ceux du témoin. Au jour 5 et jour 6, les nombres moyens pour les volumes de 40, 80 et 100 μ l, étaient non différents entre eux mais, significativement différents de ceux des volumes de 20 et 10 μ l, non différents aussi entre eux mais différents de ceux du témoin. Des résultats similaires ont été obtenus pour *T. castaneum*.

Pour l'huile de *Cc*, aucune mortalité n'a été enregistrée durant les 6 jours d'exposition. Toutefois, il est à noter qu'une intense agitation des insectes cherchant à s'échapper des montages a été observée dès leur exposition à l'odeur de l'huile.

4.4.3 Concentrations létales CL_{50} et CL_{90}

Les valeurs de g , expressions de la limite de confiance aux trois niveaux, étaient inférieures à 1,0 dans tous les cas. Pour le test du χ^2 , les valeurs étaient supérieures ou égales à 0,05 au jour 6 et le t-ratio était aussi supérieur à 1,96. Ceci démontre que les modèles probits calculés étaient statistiquement valables. Les concentrations létales (CL_{50} et CL_{90}) obtenues variaient en fonction de la nature des huiles, des volumes utilisées, du temps d'exposition et des espèces d'insectes. Dans le cas de l'huile d'*Ob* contre *S. oryzae*, les CL_{50} variaient de 71,4 $\mu\text{l/insecte}$ au jour 4 à 5,9 $\mu\text{l/insecte}$ au jour 6, tandis que les CL_{90} variaient de 389,9 à 46,5 $\mu\text{l/insecte}$ (Tableau 4. 2). Pour l'huile d'*Og* contre *S. oryzae*, les CL_{50} variaient de 26,5 $\mu\text{l/insecte}$ au jour 4, à 7,59 $\mu\text{l/insecte}$ au jour 6 et les CL_{90} variaient de 76,1 $\mu\text{l/insecte}$ à 50,5 $\mu\text{l/insecte}$. Pour *T. castaneum*, les CL_{50} variaient de 35,1 $\mu\text{l/insecte}$ au jour 4, à 8,7 $\mu\text{l/insecte}$ au jour 6 et les CL_{90} variaient de 107,6 $\mu\text{l/insecte}$ à 75,44 $\mu\text{l/insecte}$ (Tableau 4.3).

4.5 Discussion et conclusion

Les activités des huiles étudiées étaient fonction de leur nature, des volumes utilisés, du temps d'exposition et enfin des espèces d'insectes. Pour les huiles d'*Ob* et d'*Og*, les volumes allant de 2 à 80 μl avaient peu d'effet insecticide durant les deux premiers jours d'exposition des deux insectes. Les effets insecticides augmentaient graduellement du jour 3 au jour 6. Plus les volumes étaient élevés, plus le temps de réaction était court. *S. oryzae* a été plus sensible que *T. castaneum* aux huiles *Ob* et *Og*. Par ailleurs, *T. castaneum* a été plus sensible aux huiles d'*Og* qu'à celle d'*Ob*.

L'huile de *Cc* n'a eu aucune activité insecticide, mais l'effet observé pourrait être assimilé à une activité répulsive pour les deux insectes. Par conséquent, l'huile d'*Og* pourrait être retenue comme la plus toxique à cause de ses effets sur les deux ravageurs et des faibles valeurs de CL_{50} et de CL_{90} obtenues.

Les effets insecticides constatés pour les huiles d'*Ob* et d'*Og* ont été aussi mis en évidence par plusieurs auteurs contre d'autres ravageurs des stocks comme *Callosobruchus maculatus* Fab. Par exemple, Seri-Kouassi *et al.* (2004) ont affirmé la présence d'une activité insecticide et une réduction significative de la ponte de *C. maculatus* sous l'effet de l'huile d'*Og* et de celle de *Melaleuca quinquenervia* L par fumigation à différents volumes. Kéita *et al.* (2001) ont montré aussi qu'après 12 heures de fumigation à la dose de 25 μ l, les huiles d'*Ob* et d'*Og* provoquaient respectivement des mortalités de 80 et 70% chez *C. maculatus*. Gakuru et Foua-Bi (1996) ont montré également, que les extraits étherés d'*Ob* à 1% ont provoqué 82,5% de mortalité chez *C. maculatus* et chez *S. oryzae*.

Nos résultats obtenus sur *S. oryzae* sous l'effet d'*Ob* et d'*Og*, ainsi que ceux sur *T. castaneum* sous l'effet d'*Og*, se rapprochent de ceux obtenus par ces auteurs bien que les modèles expérimentaux et les insectes utilisés soient parfois différents. Ceci montre non seulement l'efficacité de ces huiles contre les ravageurs, mais aussi la diversité de leur action insecticide.

La faible activité insecticide de l'huile d'*Ob* constaté contre *T. castaneum* au cours de nos expériences a été aussi observée par Su *et al.* (1972) mais, avec d'autres types d'huiles essentielles comme celles du citron, de la lime, de la tangerine et du pamplemousse. Chaumont *et al.* (2001) ainsi que Koba *et al.* (2003) ont aussi affirmé suite à des bioessais et à des analyses chimiques que l'huile *Cc* serait plutôt active contre les microbes que contre les insectes.

Nous pouvons conclure que l'utilisation de l'huile essentielle d'*Og* comme fumigeant dans les stocks de riz pourrait représenter une solution alternative à la lutte chimique pour sa protection..

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée grâce au support financier et matériel du programme canadien de bourse de la francophonie (PCBF). Nous remercions les autorités de l'université de Conakry, du Centre d'Étude et Recherche en Environnement (CERE) pour leur soutien matériel. Nos remerciements vont également au Dr Eric Lucas de l'UQAM, au Dr Traoré du laboratoire des sciences agronomiques de Kindia et à M. Pierre Lemoyne d'Agriculture et Agro-alimentaire Canada pour leur participation aux travaux d'analyse et de préparation du matériel biologique ainsi qu'aux travaux de bio-essais et de terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- Camara, A., Vincent, C., Kéita, S.M. et Raymond, M. 2008. «Effets des poudres d'argile aromatisées par les huiles essentielles d'*Ocimum basilicum* L, d'*Ocimum gratissimum* L. et de *Cymbopogon citratus* Staph sur *Sitophilus oryzae* L. et *Tribolium castaneum* Herbst dans les stocks de riz». En prép. 18P.
- Chaumont, J.P., Mandin, D., Sanda, K., Koba, K. et De Souza, C. 2001. «Activités antimicrobiennes de cinq huiles essentielles de lamiacées togolaises vis-à-vis de germes représentatifs de la microflore cutanée». *Acta Bot. Gall.*, 148: 93-101.
- Cseke, L.J. et Kaufman, P.B. 1999. How and why these compounds are synthesized by plants. In Kaufman, P.B., Cseke, L.J., Warber, S., Duke, J.A. et Brichmann, H.L., (eds), *Natural Products from plants*. CRC Press, Boca Raton, F.L. 37-90.
- Gakuru, S. et Foua-Bi, K. 1996. «Effets d'extraits de plantes sur la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* Fab et le charançon du riz *Sitophilus oryzae* L.». *Cahiers Agricultures*, 5: 39 - 42.
- JMP IN 5.1 Windows. 2003. «USER'S Guide Starting, Creating, Opening and Saving Data». *Academic Product SAS, Institute Inc, USA*.
- Kéita, S.M., Vincent, C., Schmit, J.P., Arnason, J.T., Bélanger, A. 2001. «Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an insectidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera: Bruchidae) ». *J. Stored Prod. Res.*, 37:339-349.
- Kim, S., Roh, J., Kim, D., Lee, H. et Ahn, Y. 2003. «Insecticidal activities of aromatic plant extract and essential oils against *Sitophilus oryzae* L and *Callosobruchus chinensis* Fab». *J. Stored Prod. Res.*, 39 : 293-303.
- Koba, K., Sanda, K., Raynaud, C., Mandin, D., Millet, J. et Chaumont, J.P. 2003. «Activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Cymbopogon citratus* L. (DC) Stapf., *C. nardus* L. Rendle et *C. schoenanthus* L. Spreng». *J. Mycol. Méd.*, 13 : 175-185.
- Kouninkie, H., Ngamo, L.S.T., Hance, T. et Ngassoum, M.B. 2007. «Potentialités d'utilisation des huiles essentielles des plantes locales du Cameroun pour le contrôle du vers rouge de la farine *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera : Tenebrionidae)». *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 5: Résumé.
- LeOra Software, 1994. *Polo-Pc, Probit and Logit Analys*, Berkeley, California. 28 p.

- Maïga, S.D. 1987. Inventaire des méthodes traditionnelles de conservation du niébé (*Vigna unguicula*) au Niger. In Les légumineuses alimentaires en Afrique. Actes du colloque international sur les légumineuses. AUPELF., 274-280.
- Messina, F.J. et Renwick, A.A. 1983. «Effectiveness of oils in protecting stored cowpeas from the cowpea weevil». *J. Econ. Entomol.*, 3: 634-636.
- Morrallo, R.B et Tantengco, G.B. 1986. «Biological activity of flowers extract as insecticides; NTSA Technology». *J. Entomol.*, 11 : 37 - 46.
- Munyuli Théodore, B.M., 2003. «Effet de différentes poudres végétales sur l'infestation des semences de légumineuses et de céréales au cours de la conservation au Kivu (République démocratique du Congo)». *Agriculture*, 12 : 23-31.
- Nkouka, N. 1995. Les plantes pesticides dans la lutte intégrée contre les nuisibles In. Intégration de la résistance des plantes et de la lutte biologique. Actes du Séminaire CTA/IAR/IILB, Addis Abeba (Ethiopia), 9-14 Oct. 1997. CTA (ed.), 10-11.
- Robertson, J.L. et Preisler, H.K. 1992. Pesticide Bioassays with arthropods. CRC Press, Boca Raton, FLA, 127 p.
- Sanon, A., Garba, M., Auger, J. et Huiganrd, J. 2002. «Analysis of insecticidal activity of methylisocyanate on *Callosobruchus maculatus* and its parasitoid *Dimarmus basalis*». *J. Stored Prod. Res.*, 38:129-138.
- Seri-Kouassi, P.B., Kanko, C., Aboua, N.L.R., Bekon, A.K., Glitho, I.A., Koukoua, G. et N'Guessan, T.Y. 2004. «Action des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de Côte-d'Ivoire sur *Callosobruchus maculatus* F. du niébé». *C. R. Chimie*, 7 : 1043-1046.
- Stoll, G. 1988. Protection naturelle des végétaux en zone tropicale, CTA-AGRECOL, (ed.) Josef Margraf, RFA, 180P.
- Su, H.C.F., Speirs, R.D. et Mahany, P.G. 1972. «Toxicity of Citrus oils of Several Stored-Product Insects: Laboratory Evaluation». *J. Econ. Entomol.*, 65: 1438-1441.
- Teugwa, M.C., Piam, G., Tane, P. et Amvam Zollo, P.H. 2002. «Activité insecticide des extraits d'*Ageratum houstonianum*, de *Clausena anisata* et de *Croton macrostachyus* sur la bruche du niébé (*Vigna unguiculata* Walp)». *Food-Africa*, 4 p.
- Weaver, D.K., Dunkel, F.V., Ntezurubanza, L., Jackson, L.L. et Jackson, D.T. 1991. «The efficacy of Linalool, a major component of freshly-milled *Ocimum canum* Sims. (Labitae), for protection against postharvest damage by certain stored product Coleoptera». *J. Stored Prod. Res.*, 27: 213-220.

LÉGENDE DES FIGURES

Figure 4.1 : Nombre moyen de *S. oryzae* mort sous l'effet des différents volumes d'huile d'*Ob* en fonction du temps.

Figure 4.2 : Nombre moyen de *T. castaneum* mort sous l'effet des différents volumes d'huile d'*Ob* en fonction du temps.

Figure 4.3 : Nombre moyen de *S. oryzae* mort sous l'effet des différents volumes d'huile d'*Og* en fonction du temps.

Figure 4.4 : Nombre moyen de *T. castaneum* mort sous l'effet des différents volumes d'huile d'*Og* en fonction du temps.

Jour 3, jour 4, jour 5, jour 6 := nombre de jour = temps d'exposition.

Pour chaque période d'exposition, les nombres moyens ayant une même lettre n'ont pas de différence significative.

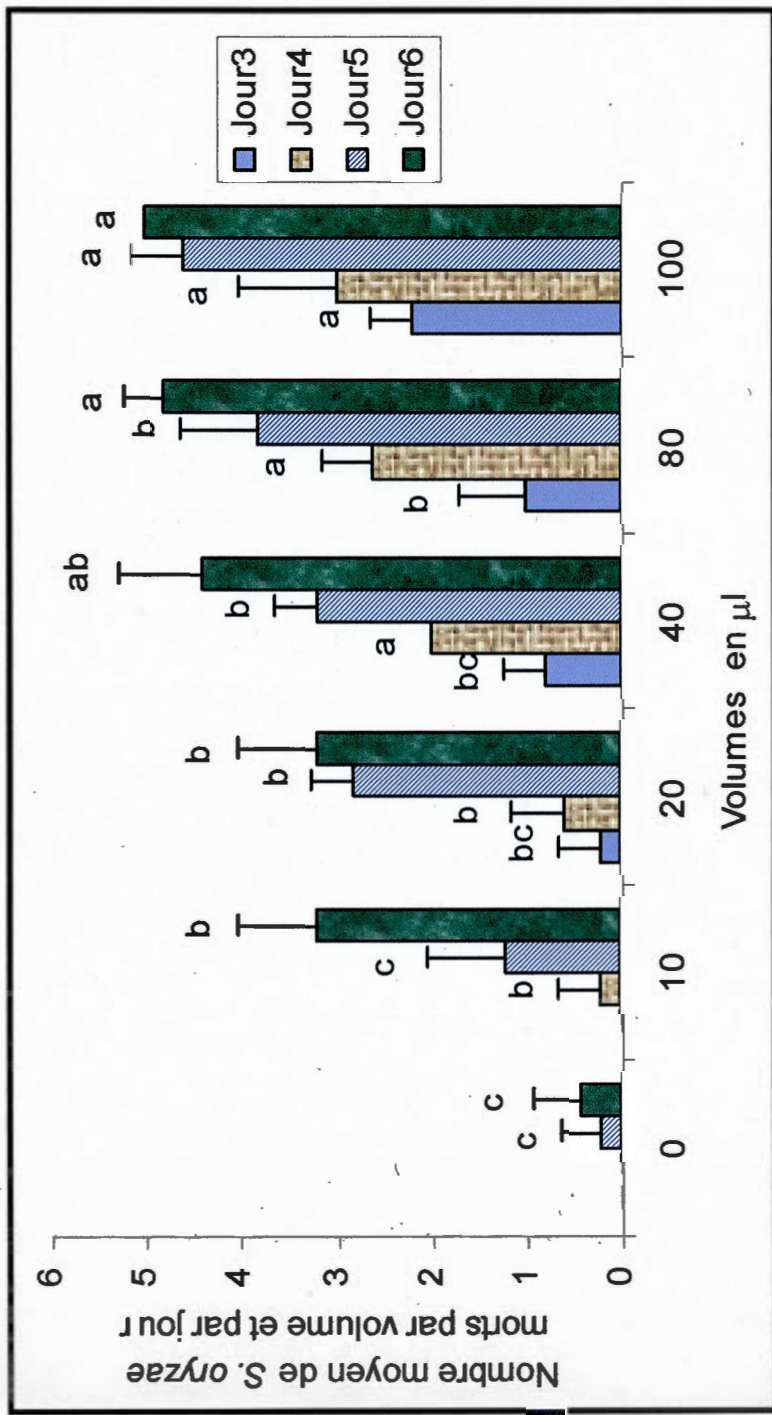


Figure 4.1

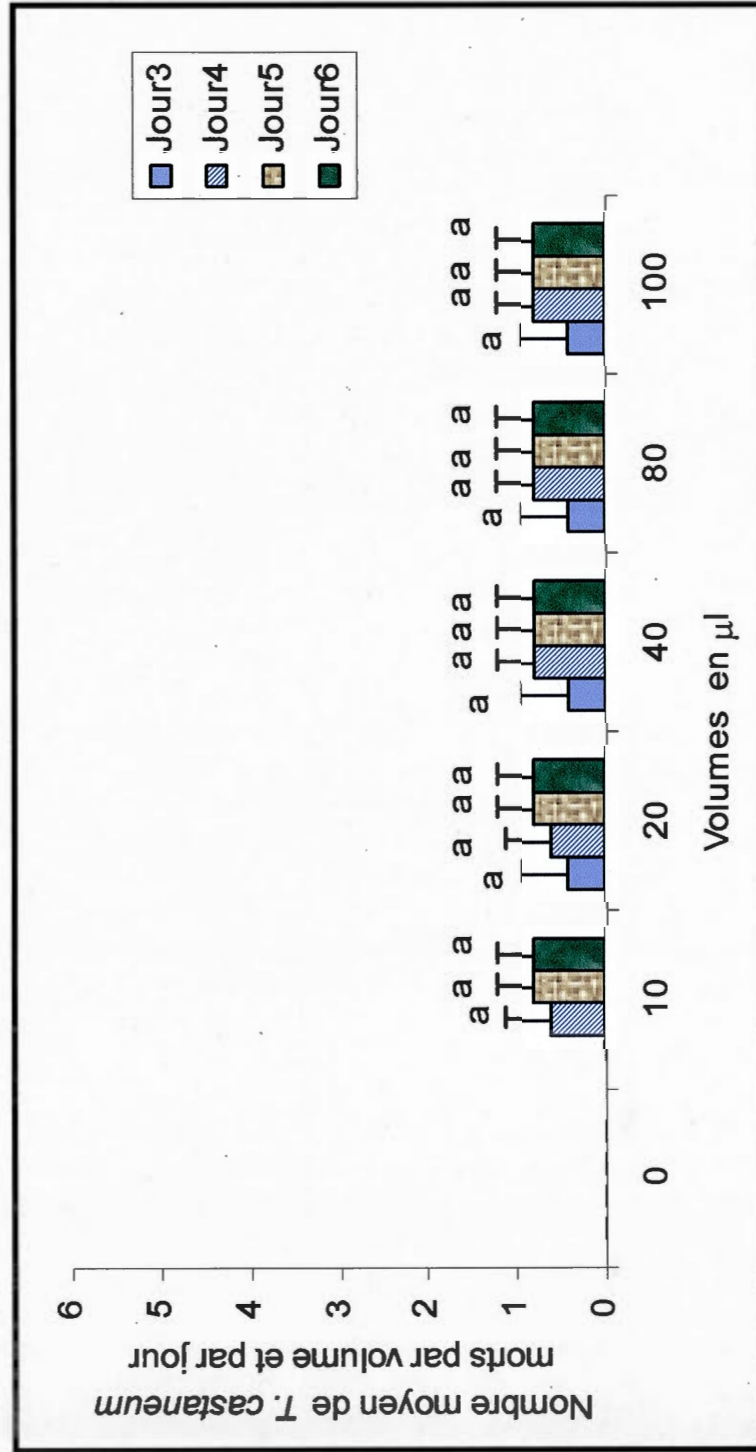


Figure 4.2

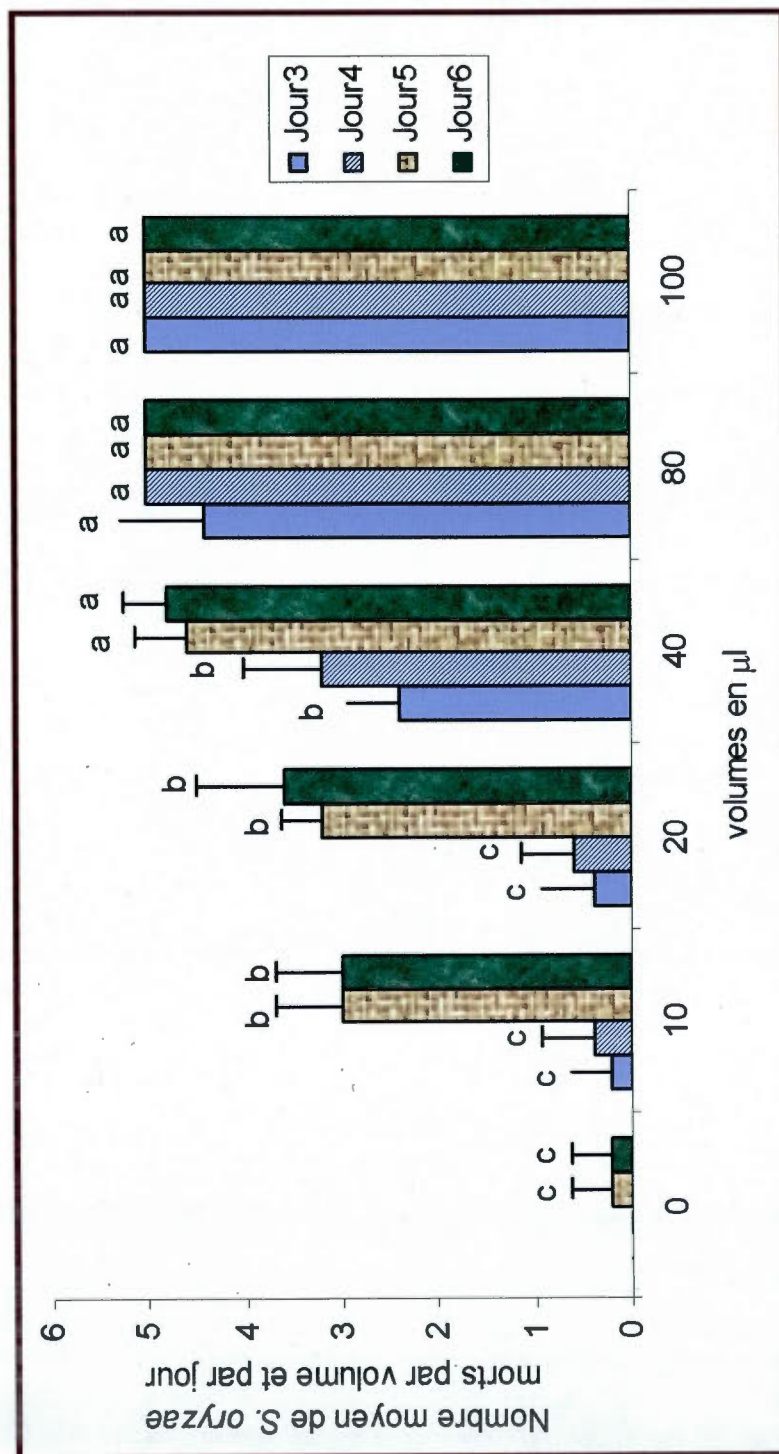


Figure 4.3

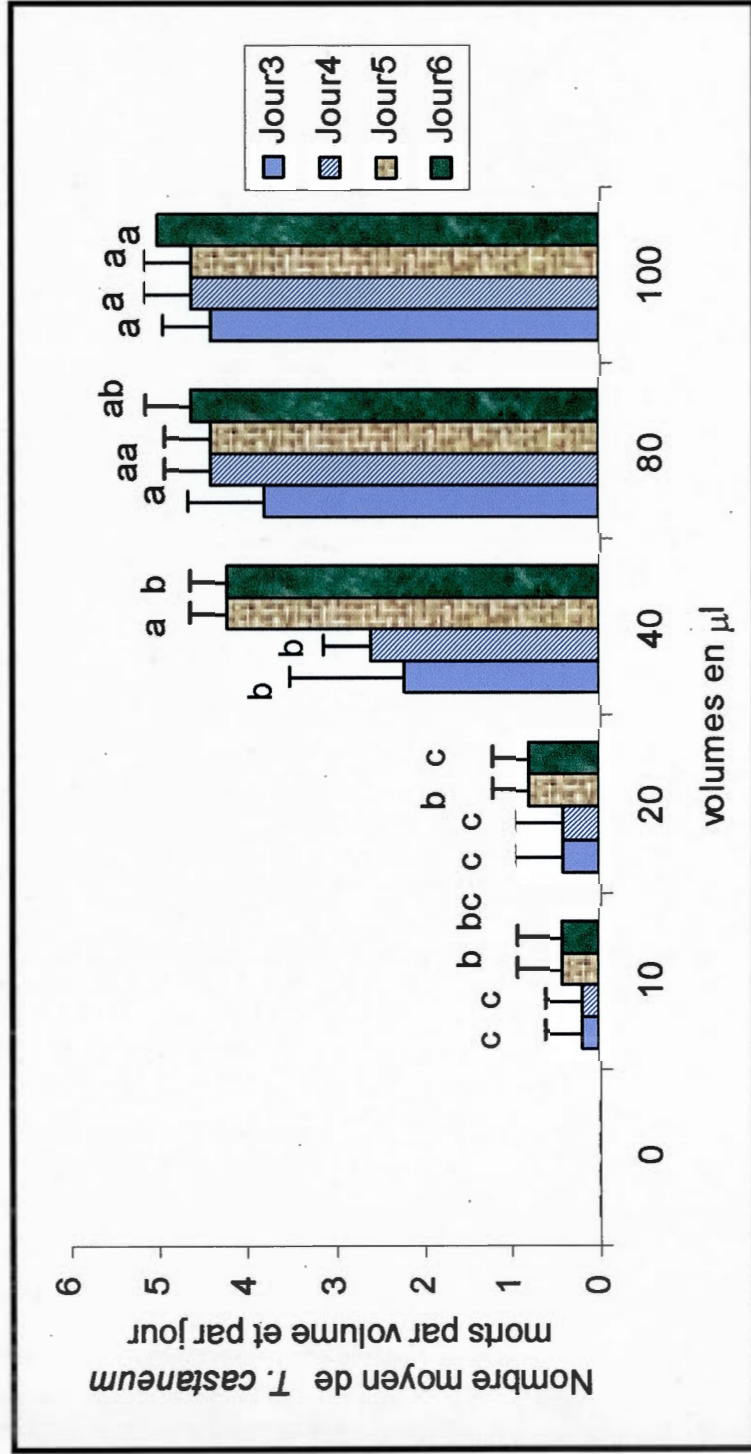


Figure 4.4

Tableau 4.1. Rendements en huiles essentielles des feuilles récoltées en juin 2007 en Guinée

Espèces végétales	Zones de récolte	Matière fraîche (g)	Matière sèche (g)	Quantité huile (ml)	Poids huile (g)	Rendement % *
<i>Ob</i>	Coyah Gombonyah	14500	5984,05	21,89	18,38	0,30
<i>Og</i>	Manéah Gombonyah	7450	2179,52	37,40	31,82	1,45
<i>Cc</i>	Coyah Manéah	17250	7088	70,24	58,46	0,82

* Poids huile (g) / Matière sèche (g)

Tableau 4.2. Concentrations létales de l'huile d'Ob chez des adultes de *S. oryzae* (A) et chez des adultes de *T. castaneum* (B) par fumigation en fonction du temps (n = 5)

Durée (Jours)	CL ₅₀ (µg/cm ³)	CL ₉₀ (µg/cm ³)	t ratio	χ^2 ddl = 43	g (90)	g (95)	g (99)
A) <i>S. oryzae</i>							
4	71,4 51,6 - 113,1	389,92 212,6 - 1095,2	6,98	30,9	0,05	0,07	0,13
5	26,1 20,8 - 33,4	102,6 72,3 - 169,7	9,12	27,0	0,03	0,01	0,07
6	5,9 3,6 - 8,4	46,5 28,2 - 114,3	5,84	16,4	0,07	0,11	0,19
B) <i>T. castaneum</i>							
4	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN
5	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN
6	451,2 140,5 - 1387,3	23539,4 2028,3 - 50887786,0	3,75	26,75	0,19	0,27	0,47

DN = Données non disponibles à cause de la faible activité des doses utilisées ou des huiles sur l'espèce.

Tableau 4.3. Concentrations létales de l'huile d'Og chez des adultes de *S. oryzae* (A) et chez des adultes de *T. castaneum* (B) par fumigation en fonction du temps (n = 5)

Durée (Jours)	CL ₅₀ (μ g/cm ³)	CL ₉₀ (μ g/cm ³)	t ratio	χ ² ddl = 43	g (90)	g (95)	g (99)
A) <i>S. oryzae</i>							
4	26,5 21,6 - 33,3	76,1 56,6 - 116,1	9,38	44,24	0,03	0,04	0,08
5	13,6 11,5 - 16,4	33,0 25,6 - 47,9	8,32	27,84	0,03	0,05	0,09
6	7,5 0,9 - 13,5	50,5 30,2 - 260,8	3,05	13,46	0,29	0,41	0,71
B) <i>T. castaneum</i>							
4	35,1 27,5 - 46,0	107,6 76,1 - 182,1	9,05	54,05	0,04	0,06	0,11
5	27,9 22,9 - 34,6	81,8 61,8 - 121,0	9,50	42,34	0,02	0,04	0,07
6	8,7 6,1 - 11,8	75,4 46,4 - 165,1	7,23	21,13	0,05	0,07	0,12

CHAPITRE V

ACTIVITÉ INSECTICIDE DES HUILES ESSENTIELLES D'*OCIMUM*
BASILICUM L, D'*OCIMUM GRATISSIMUM* L ET DE *CYMBOPOGON*
CITRATUS STAPF SUR *SITOPHILUS ORYZAE* L ET *TRIBOLIUM CASTANEUM*
HERBST PAR CONTACT DANS LES MILIEUX ALIMENTAIRES.

Par

Aïssata CAMARA

Avec la collaboration de :

Charles VINCENT¹, Sékou Moussa KÉITA² et Michel RAYMOND³

1. Centre de R&D en horticulture, Agriculture et agro-alimentaire Canada, 430 boul. Gouin, Saint-Jean-sur-Richelieu, Qc, Canada J3B 3E6.
2. Université de Conakry, Centre d'Étude et de Recherche en environnement (CERE), République de Guinée.
3. Département des sciences biologiques, Université du Québec à Montréal (UQAM), C.P. 8888, succursale Centre-Ville, Montréal, Qc, Canada H3C 3P8

Ce chapitre traite l'évaluation des huiles essentielles d'*Ocimum basilicum*, d'*Ocimum gratissimum* et de *Cymbopogon citratus* par contact dans les grains de riz à des concentrations différentes après leur évaluation par fumigation.

RÉSUMÉ

Les effets des huiles essentielles extraites des feuilles d'*Ocimum basilicum* L. (Ob) d'*Ocimum gratissimum* L. (Og) et de *Cymbopogon citratus* Stapf (Cc) de Guinée ont été évalués dans 4 milieux alimentaires soit, les riz non étuvés blanc (RNEB) et paddy (RNEP) et les riz étuvés blanc (REB) et paddy (REP) en deux expériences. La première expérience consistait à évaluer les volumes de 1 à 5µl sur la survie et la prolifération des insectes dans les milieux alimentaires pour deux mois. La deuxième expérience consistait à évaluer les volumes de 10 à 50µl dans les milieux infestés et conservés pour la ponte. Dans le cas de l'expérience 1, une diminution graduelle du nombre de survivants a été observée en fonction des volumes utilisés et des milieux alimentaires pour toutes les huiles. Une faible survie des insectes a été observée dans les riz étuvés pour toutes les huiles. Pour l'huile d'Ob avec *S. oryzae*, une différence significative existait entre tous les traitements et leurs témoins. Les plus petits nombres moyens significatifs de *S. oryzae* se trouvaient également dans les milieux contenant les volumes plus élevées (4 et 5µl). Par exemple, dans le milieu RNEB, les nombres moyens significatifs pour les volumes élevées étaient de 7,6 et 4,2 par rapport à 60,4 pour le témoin. Avec REB les nombres moyens significatifs étaient 2,6 et 1,4 par rapport à 25,6 pour le témoin. Les résultats similaires ont été observés chez *T. castaneum*. Ceci indique les effets des huiles essentielles et ceux de l'étuvage. Parmi les trois huiles, l'huile d'Og a été la plus active et celle de Cc a été la moins active. Concernant la deuxième expérience, toutes les trois huiles ont empêché l'éclosion, la survie et la prolifération des insectes. Aucun adulte survivant n'a été dénombré sauf dans les milieux témoins. Ceci met en évidence les effets insecticides des trois huiles dans les grains. Nous pouvons conclure que l'utilisation des trois huiles dans les grains pourrait représenter une solution alternative à la lutte chimique.

Mots-clés : Insectes des denrées stockées, Afrique, lutte biologique, plantes pesticide, huiles essentielles, *Ocimum basilicum* L, *Ocimum gratissimum* L, *Cymbopogon citratus* Stapf, *Sitophilus oryzae* L., *Tribolium castaneum* Herbst.

5.1 Introduction

L'Afrique de l'Ouest est l'un des plus grands producteurs et importateurs de riz du continent africain. Cette céréale constitue la première source de protéines végétales en Basse Guinée. Un problème important de cette filière est celui de la conservation des grains dans les greniers traditionnels ou les magasins. Les insectes se développent rapidement à cause du climat favorable et peuvent détruire de 30 à 50% des récoltes après quelques mois d'entreposage (Foua-Bi, 1992; Alzouma, 1990; Hall, 1970). Plusieurs types de déprédateurs sont à l'origine de ces pertes de riz en post-récolte en Guinée et les principaux sont *Sitophilus oryzae* L. et *Tribolium castaneum* Herbst (Kéita *et al.*, 2001).

L'une des principales méthodes de lutte contre ces ravageurs est l'utilisation d'insecticides ou fumigènes de synthèse (Relinger *et al.*, 1988; Haubruge *et al.*, 1988). Ainsi, des pesticides de contact tels que le sofagrain, l'actellic, le pyrémiphos méthyle, sont souvent utilisés pour protéger les stocks. Des produits prohibés comme le DDT et le Lindane sont également utilisés (Léonard, 2004). L'inconvénient de ces insecticides de contact est qu'ils ont souvent une faible activité sur certains stades d'insectes, notamment certaines formes de *S. oryzae* cachées dans les grains. Leur utilisation excessive provoque aussi l'apparition de souches résistantes dans la population des insectes traités. Il en résulte généralement une accumulation des résidus des pesticides dans le sol, la contamination des aliments ainsi que les risques sanitaires liés à leur manipulation (Léonard, 2004).

Les biopesticides d'origine végétale par contre sont fréquemment biodégradables et moins toxiques que les insecticides de synthèse (Regnault-Roger *et al.*, 2008). Selon Tapondjou *et al.* (2003), le règne végétal offre à cet égard beaucoup de possibilités. C'est dans cette optique que nous avons testé les effets insecticides des huiles de trois plantes

localement disponibles en post-récolte contre *S. oryzae* et *T. castaneum*. Il s'agit de l'huile d'*Ocimum basilicum* L. (Ob), d'*Ocimum gratissimum* (Og) et de *Cymbopogon citratus* (Cc).

L'objectif principal est de lutter contre ces ravageurs à l'aide des moyens naturels de protection disponibles pour les paysans d'Afrique de l'Ouest. Notre hypothèse est que ces huiles essentielles peuvent avoir un effet toxique, antiappétant ou répulsif contre ces ravageurs lorsqu'elles sont utilisées par contact en post-récolte.

5.2 Matériel et méthode

5.2.1 Matériel biologique

➤ Matériel végétal

Les feuilles d'*O. basilicum*, d'*O. gratissimum* et de *C. citratus* ont été récoltées en juin 2007 à Coyah, Manéyah ou Gombonyah en République de Guinée. Le matériel récolté a été déposé immédiatement au laboratoire du Centre d'étude et de recherche en environnement (CERE). Les feuilles ont été découpées, pesées et étalées en couches minces sur le sol pour le séchage à la température ambiante du laboratoire (Camara *et al.*, 2008).

➤ Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont été extraites des feuilles sèches par entraînement à la vapeur réalisée dans un système d'alambic (Kéita *et al.*, 2001). La matière végétale sèche a été déposée dans une cocotte-minute communiquant avec un réfrigérant par un tuyau. L'ensemble (cocotte-minute, feuilles et eau) a été porté à ébullition sur un réchaud électrique. La vapeur d'eau et les molécules aromatiques condensées ont été récupérées

dans une ampoule à décanter. Les huiles surnageantes ont été récupérées par décantation et conservées dans des flacons opaques (Camara *et al.*, 2008).

➤ Élevage des insectes

Les insectes (*S. oryzae* et *T. castaneum*) ont été récoltés dans des champs du Centre de recherche agronomique de Foulaya en Guinée, puis élevés sur maïs au laboratoire du Centre sur 2 ou 3 générations avant les expériences. Leur récupération a été faite après égrenage et tamisage des grains de maïs. Ces individus ont été placés dans des flacons de riz jusqu'à l'apparition des nouveaux adultes de la génération suivante qui ont été utilisés pour nos expériences. Ces flacons ont été conservés à la température ambiante (28 à 30° C) dans un laboratoire du CÉRE en Guinée.

5.2.2 Méthode expérimentale

Les effets des huiles essentielles d'*O. basilicum*, d'*O. gratissimum* et de *C. citratus* ont été évalués par contact dans 4 milieux alimentaires soit les riz non étuvés blanc (RNEB) et paddy (RNEP), les riz étuvés blanc (REB) et paddy (REP). Nous avons effectué deux expériences.

L'expérience 1 a porté sur les volumes de 1, 2, 3, 4 et 5 µl pour une durée de deux mois sur les adultes dans les grains. L'expérience 2 consistait à vérifier dans les milieux infestés et conservés pour la ponte, l'effet insecticide des volumes de 10, 20, 30, 40 et 50µl sur l'émergence et la survie éventuelle des adultes pour une période de deux mois d'entreposage.

Pour la réalisation des travaux, nous avons préparé, pour chaque milieu alimentaire, cinq flacons par volume, ce qui a donné 25 flacons par milieu alimentaire pour les cinq volumes de chaque expérience. En plus de ces 25 flacons, nous avons préparé cinq autres flacons pour chaque milieu servant de témoins. Au total, il y avait 30 flacons par milieu alimentaire soit 120 flacons pour chacune des deux expériences et au total 240 flacons. Nous avons déposé 5g de grains dans chacun des flacons puis, nous les avons infestés par 10 insectes adultes dont cinq par espèce avec au moins 2 femelles de *S. oryzae*. Dans l'expérience 1, les milieux alimentaires ont été d'abord mélangés à l'huile avant l'ajout des insectes âgés d'au plus de 7 jours. Pour l'expérience 2, les milieux infestés ont été conservés d'abord pendant 15 jours afin de permettre aux insectes de pondre avant l'ajout des huiles. Les adultes initialement ajoutés ont été retirés des milieux avant leur aromatisation. Chaque tube a été protégé par un couvercle enveloppé par une bande de plastique et l'ensemble a été entreposé pendant 2 mois à la température du laboratoire. Les dénombrements ont été effectués à la fin de la période d'entreposage.

5.3 Analyses statistiques

La variable mesurée pour évaluer les effets des huiles essentielles est le nombre d'adultes survivants émergés dans chaque milieu alimentaire aromatisé pour chaque expérience. Les données obtenues ont été traitées statistiquement par une analyse de variance (ANOVA) à un critère de classification au moyen du logiciel JMP IN version 5.1 (2003) pour Windows. La normalité de la distribution des données a été confirmée. La comparaison des moyennes a été effectuée par le test de Tukey Kramer HSD au seuil de $p = 0,05$.

5.4 Résultats

5.4.1 Expérience 1

➤ Huile d'*Ocimum basilicum*

Pour *S. oryzae*, une différence significative existait entre les milieux alimentaires (Tableau 5.1). Cette différence se trouvait entre les traitements et leurs témoins ensuite, entre les différents volumes utilisés pour chaque milieu alimentaire.

Dans le cas des milieux RNEB et REB, une diminution graduelle de la survie des insectes en fonction de l'augmentation des volumes a été observée. Les nombres moyens significatifs dans RNEB se trouvaient dans les milieux contenant les volumes de 4 μ l soit 7,6 et des volumes de 5 μ l soit, 4,2 non différents entre eux, mais différents de ceux des volumes de 1, 2 et 3 μ l soit respectivement 24, 20,2 et 12. Ces derniers étaient différents entre eux et différents aussi de celui du témoin. Pour RNEP et REP, la survie était très faible dès la volume de 1 μ l et ne diminuait plus en fonction de l'augmentation de la concentration.

Pour *T. castaneum*, une diminution graduelle de la survie des insectes en fonction de l'augmentation des volumes a été également observée avec tous les milieux alimentaires. En général, la survie dans les témoins dans les REB et REP était nettement inférieure à celle des RNEB et RNEP.

➤ Huile d'*Ocimum gratissimum*

Pour *S. oryzae* et pour *T. castaneum*, il y avait une différence significative entre tous les milieux (Tableau 5.2). Ces différences se situent entre les traitements et leurs témoins pour la plupart des milieux alimentaires sauf pour REP chez *T. castaneum*. Une diminution graduelle de la survie des insectes en fonction de l'augmentation des volumes des huiles et une faible survie ont été également observées dans tous les traitements et plus particulièrement dans les riz étuvés.

➤ Huile de *Cymbopogon citratus*

Il y avait une différence significative dans les milieux avec *S. oryzae* (Tableau 5.3). Pour les milieux RNEB et RNEP, ces différences se situaient entre les milieux contenant les volumes de 4 et 5µl et ceux des volumes de 1 à 3µl non différents des témoins. Pour les milieux REB et REP, la différence se situait entre les traitements et leurs témoins ensuite, entre les différents volumes. Une diminution graduelle de la survie des insectes en fonction de l'augmentation des volumes et une faible survie dans les riz étuvés ont été observées dans ces milieux.

Dans le cas de *T. castaneum*, la différence significative se situe aussi entre les milieux contenant les volumes élevées 4 et 5µl et ceux des volumes de 1 à 3µl souvent non différents des témoins.

5.4.2 Expérience 2

Tous les volumes de 10 à 50 μ l pour les trois huiles essentielles (*Ob*, *Og* et *Cc*) expérimentées ont empêché l'émergence et la survie des deux insectes. Aucun adulte survivant n'a été dénombré dans tous les milieux étudiés, sauf dans les témoins.

5.5 Discussion et conclusion

Les résultats de l'expérience 1 ont montré des effets insecticides variant en fonction des huiles essentielles, des volumes utilisées, des milieux alimentaires et des insectes. Dans le cas des huiles essentielles, les résultats ont montré que les huiles d'*Ob* et d'*Og* ont été plus actives que celle de *Cc*. Une diminution graduelle de survie des insectes a été observée en fonction de l'augmentation des volumes dans tous les milieux et pour toutes les huiles. Pour les milieux alimentaires, une faible survie a été observée dans les milieux étuvés pour les deux insectes. Ceci indique non seulement les effets insecticides des huiles essentielles dans les milieux, mais aussi des effets de l'étuvage. Pour l'huile de *Cc*, les volumes de 1, 2 et 3 μ l ont montré moins d'effets insecticides.

Chez les riz paddy, il y a eu des difficultés de dénombrement en raison du comportement de certains stades d'insectes qui se cachent dans les enveloppes. Toutefois, les résultats obtenus par rapport aux témoins ont montré, pour la plupart, des différences significatives avec les traitements.

Dans l'expérience 2 (milieux infestés 15 jours avant l'ajout des huiles), toutes les huiles utilisées ont empêché l'émergence, la survie et le développement des insectes. Aucun adulte survivant n'a été dénombré dans les milieux utilisés pour tous les volumes utilisés, sauf dans leur témoin. Ceci indique la toxicité des huiles tant pour les œufs que pour les adultes surtout pour le traitement des milieux infestés.

Des effets similaires ont été notés sur les mêmes espèces d'insectes au cours des études de toxicité par contact effectué par Tripathi *et al.* (2003) en Inde et sur *Callosobruchus maculatus* (Tapondjou *et al.*, 2003). Les plantes étudiées par ces auteurs ont des activités ovicides et insecticides chez ces insectes et ont supprimé leur reproduction dans plusieurs essais. Dans ce contexte, Garneau *et al.* (1996) et Garneau (2001) ont affirmé que chaque plante est un cas particulier qu'il faut investiguer à cause des effets insecticides variables en fonction de la nature des plantes et des espèces d'insectes.

La toxicité de nos huiles essentielles expérimentées pour les humains n'a pas été testée au cours nos expériences. Mais, les plantes étudiées sont fréquemment utilisées en médecine traditionnelle contre plusieurs maladies comme les troubles digestifs, la fièvre, le rhume, les infections par les champignons, les inflammations, etc. depuis très longtemps et dans plusieurs pays africains. Elles sont également utilisées dans les plats quotidiens ainsi qu'en pharmacie, dans la production de savons et de cosmétiques. D'après Sanon *et al.* (2002), les huiles essentielles sont généralement toxiques pour les arthropodes, mais peu toxiques pour les animaux à sang chaud.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée grâce au support financier et matériel du programme canadien de bourse de la francophonie (PCBF). Nous remercions les autorités de l'université de Conakry, du Centre d'Étude et Recherche en Environnement (CERE) pour leur soutien matériel. Nos remerciements vont également au Dr Traoré du laboratoire des sciences agronomiques de Kindia pour sa participation à la culture des insectes utilisés, au Dr Eric Lucas et ses étudiants au département des sciences biologiques UQAM pour leur participation aux travaux de bioessais, aux villageois et

villageoises, particulièrement à Madame Hadja Mamadi Sakho, pour leur participation à l'achat et la préparation des échantillons de riz, la localisation, la récolte et le transport des feuilles au laboratoire.

BIBLIOGRAPHIE

- Alzouma, I. 1990. Les problèmes de la post-récolte en Afrique Sahélienne, In : Foua-Bi K, Philogène B.J.R. (éds). *La post-récolte en Afrique. Actes du Séminaire International de la post-récolte en Afrique*, Abidjan, Côte-d'Ivoire, 29 janv.-1^{er} fév. 1990). Montmagny : Aupelf-Uref, 22-7.
- Foua-Bi, K. 1992. Préambule. In : Foua-Bi K, Philogène B, éds. 1990. *La post-récolte en Afrique : Actes du Séminaire International de la Post-Récolte en Afrique*, Abidjan, Côte d'Ivoire 29 jan -1^{er} fév. Montmagny. Aupelf-Uref, 152- 154.
- Garneau, F-X., Gagnon, H., Jean, F-I., Koumaglo, H.K., Moudachirou, M. et Addae-Mensah, I. 1996. *Les chémotypes de Lippia multiflora, Melaleuca quiquenervia et Clausena anisata du Togo, Bénin et Ghana. In Actes du 3^{ème} colloque produits naturels d'origine végétale. Edt) Collin, G. et Garneau, F.-X. LASEVE_UQAC'* Chicoutimi, Québec, 125-135.
- Garneau, F-X. 2001. Notes du cours *Produits naturels*. Département des sciences fondamentales, UQAC, Chicoutimi, Québec. 17p.
- Hall, D.W. 1970. *Handling and Storage of Food Grains in Tropical and Subtropical Areas*, FAO. Rôme, 350 p.
- Haubruge, E., Shiffers, B. Gabriel, E. Verbaeten. 1988. «Étude de la relation dose-efficacité de six insecticides à l'égard de *Sitophilus granarius* L., *S. oryzae* L., et *S. zeamais* Mots. (Coleoptera, Curculionidae)». *Med. Fac. Landbouww Ryksuniv Gent* ; 53/2b : 719-26.
- JMP IN 5.1 Windows. 2003. «USER'S Guide Starting, Creating, Opening and Saving Data». *Academic Product SAS, Institute Inc., USA*.
- Kéita, S.M., Vincent, C., Schmit, J.P., Arnason, J.T., Bélanger, A. 2001. «Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an

insectidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera: Bruchidae)». *J. Stored Prod. Res.*, 37:339-349.

Léonard, S.T.N. 2004. «La recherche d'une alternative aux polluants organiques persistants». In *Bull. D'information Phytosanitaire- Phytosanitary News Bulletin*, 43; Avril - juin 2004.

LeOra Software, 1994. Polo-Pc, Probit and Logit Analys, Berkeley, California. 28 p.

Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R., Vincent, C. 2005. Biopesticides of plant origin. Intercept, Andover, U.K. 313p.

Relinger, L.M., Zettler, J.L., Davis, R., Simonaitis, R.A. 1988 . « Evaluation of pirimiphos methyl as a protectant for export grain». *J. Econ. Ent.*, 81 : 718-21.

Sanon, A., Garba, M., Auger, J. et Huiganrd, J. 2002. «Analysis of insecticidal activity of methylisocyanate on *Callosobruchus maculatus* and its parasitoid *Dimarmus basalis*». *J. Stored Prod. Res.*, 38:129-138.

Tapondjou, A.L., Cornel, A., Hamilton, B., Dominic, A.F. 2003. «Bioefficacité des poudres et des huiles essentielles des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* L. et *Eucalyptus saligna* Smith à l'égard de la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera, Bruchidae)». *Cahier d'études et de recherches francophones/Agricultures*, 12 : 6 : 401-7.

Tripathi, A. K. Prajapati, V., Verma, N., Bahl, J.R., Bansal, R.P., Khanuja, S.P.S. et Kumar, S. 2003. «Bioactivités de l'huile essentielle des feuilles de Safran des Indes Longa (variété Ch-66) sur trois espèces des coléoptères de produits entreposés». *J. Econ. Ent.*, 95 : 183-189.

Tableau 5.1. Nombre moyen (écart-type) des adultes survivants de *Sitophilus oryzae* et de *T. castaneum* dans les milieux aromatisés avec *Ocimum basilicum*

Milieux	Volumes d'Ob (μl)					F	
	0	1	2	3	4		5
A) <i>S. oryzae</i> .							
RNEB	60,4 ^{a*} (5,8)	24 ^b (5,0)	20,2 ^{bc} (6,1)	12 ^{cd} (1,5)	7,6 ^d (2,0)	4,2 ^d (1,30)	118,5
RNEP	16 ^a (4,0)	3,4 ^b (0,5)	2,4 ^b (0,5)	1,2 ^b (0,8)	0,4 ^b (0,5)	0,2 ^b (0,4)	59,7
REB	25,6 ^a (3,3)	14,6 ^b (2,9)	10,6 ^{bc} (2,0)	7,4 ^c (1,1)	2,6 ^d (0,5)	1,4 ^d (1,3)	86,2
REP	15,2 ^a (3,7)	4 ^b (1,0)	3 ^b (1,2)	2,6 ^b (1,6)	1,4 ^b (0,5)	0,6 ^b (0,8)	43,4
B) <i>T. castaneum</i>							
RNEB	19 ^{a*} (3,5)	14,8 ^b (2,1)	11,8 ^b (1,3)	11 ^b (1,4)	4,8 ^c (0,8)	3,2 ^c (1,3)	45,84
RNEP	12,6 ^a (2,0)	8,4 ^b (1,1)	6,6 ^b (1,8)	5,8 ^{bc} (1,4)	3,6 ^{cd} (0,8)	2,8 ^d (0,8)	30,14
REB	4,6 ^a (3,3)	3 ^b (2,9)	2,6 ^b (2,0)	2,6 ^b (1,1)	2,6 ^b (0,5)	0,4 ^c (1,3)	15,41
REP	3,4 ^a (0,8)	3 ^a (0,7)	2,4 ^a (0,5)	2 ^{ab} (0,7)	0,8 ^{bc} (0,8)	0,4 ^c (0,5)	13,78

* Dans une même ligne, les nombres moyens suivis d'une même lettre n'ont pas de différence significative selon le test de Tukey Kramer HSD au seuil de $p = 0,05$ ($n = 5$ insectes/répétitions x 5 répétitions, ANOVA ddl = 5/24).

Tableau 5.2. Nombre moyen (écart-type) des adultes survivants de *Sitophilus oryzae* et *T. castaneum* dans les milieux aromatisés avec *Ocimum gratissimum*

Milieux	Volume d'Og (μl)					F	
	0	1	2	3	4		5
A) <i>S. oryzae</i>							
RNEB	60,4 ^{a*} (5,8)	4 ^b (0,7)	3 ^b (0,7)	1,8 ^b (0,4)	1,4 ^c (0,5)	0,8 ^c (0,4)	471,55
RNEP	16,0 ^a (4,0)	4,4 ^b (0,5)	3,2 ^{bc} (0,4)	2,4 ^{bc} (0,5)	1,4 ^{bc} (0,5)	0,6 ^c (0,5)	54,64
REB	25,6 ^a (3,3)	3,4 ^b (0,5)	1,8 ^{bc} (0,4)	1,4 ^{bc} (0,5)	1,0 ^{bc} (0,7)	0,2 ^c (0,4)	228,39
REP	15,2 ^a (3,7)	2,6 ^b (0,5)	2,4 ^b (0,5)	1,6 ^b (0,5)	1,2 ^b (0,4)	0,4 ^b (0,5)	156,46
B) <i>T. castaneum</i>							
RNEB	19,0 ^{a*} (3,5)	6,8 ^b (2,1)	5,8 ^{bc} (0,8)	5,0 ^{bc} (0,2)	4,2 ^{b*} (0,8)	3,2 ^c (0,4)	50,56
RNEP	12,6 ^a (2,0)	6,2 ^b (1,3)	5,4 ^{bc} (1,1)	5,4 ^{bc} (0,5)	3,2 ^{cd} (1,3)	2,4 ^d (0,5)	40,63
REB	4,6 ^a (0,8)	3 ^b (0,7)	2,8 ^{bc} (0,4)	2,6 ^{bc} (0,5)	2,2 ^{bc} (0,4)	1,6 ^c (0,5)	13,35
REP	3,4 ^a (0,8)	2,6 ^{ab} (0,5)	1,6 ^{bc} (0,5)	1,6 ^{bc} (0,5)	1,6 ^{bc} (0,5)	0,6 ^c (0,5)	12,26

*Dans une même ligne, les nombres moyens suivis d'une même lettre n'ont pas de différence significative selon le test de Tukey Kramer HSD au seuil de $p = 0,05$ ($n = 5$ insectes/répétitions x 5 répétitions, ANOVA ddl = 5/25).

Tableau 5.3. Nombre moyen (écart-type) des adultes survivants de *Sitophilus oryzae* et *T. castaneum* dans les milieux aromatisés avec *Cymbopogon citratus*

Milieux	Volume de Cc (μl)					F	
	0	1	2	3	4		5
A) <i>S. oryzae</i>							
RNEB	60,4 ^{ab} (5,8)	58,8 ^a (5,1)	53,2 ^a (7,4)	51 ^{ab} (6,2)	41,6 ^{bc} (2,7)	34,8 ^c (2,3)	17,83
RNEP	16 ^a (4,0)	13,4 ^{ab} (2,70)	12 ^{ab} (1,2)	10,6 ^b (0,8)	5,4 ^c (1,5)	4,4 ^c (0,5)	21,72
REB	25,6 ^a (3,3)	14 ^b (2,3)	12,8 ^b (0,8)	10,8 ^b (2,3)	5,2 ^c (1,3)	3,4 ^c (3,4)	74,10
REP	15,2 ^a (3,7)	6,6 ^b (1,1)	5,8 ^{bc} (0,8)	5 ^{bcd} (0,7)	3,2 ^{cd} (0,4)	2,4 ^d (0,5)	38,09
B) <i>T. castaneum</i>							
RNEB	19 ^{ab} (3,5)	8,6 ^b (1,3)	7,2 ^{bc} (1,7)	6,2 ^{bc} (1,6)	4,6 ^c (0,5)	3,8 ^c (0,4)	44,67
RNEP	12,6 ^a (2,0)	9,6 ^a (2,0)	6,4 ^b (1,1)	5,6 ^{bc} (1,1)	4,6 ^{bc} (1,1)	3,2 ^c (1,3)	25,62
REB	4,6 ^a (0,8)	4,4 ^a (0,5)	3,6 ^{ab} (0,8)	2,8 ^{bc} (0,4)	2,4 ^{bc} (0,5)	2,2 ^c (0,4)	12,12
REP	3,4 ^a (0,8)	3,4 ^a (0,5)	2,6 ^{ab} (0,5)	2,4 ^{ab} (0,5)	2 ^b (0,7)	1,6 ^b (0,5)	6,41

*Dans une même ligne, les nombres moyens suivis d'une même lettre n'ont pas de différence significative selon le test de Tukey Kramer HSD au seuil de $p = 0,05$ ($n = 5$ insectes/répétitions x 5 répétitions, ANOVA ddl = 524).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les travaux ont porté sur l'évaluation des effets de l'étuvage traditionnel (Chapitre II) et de ceux des huiles essentielles extraites des feuilles d'*Ocimum basilicum* L. (Ob), d'*Ocimum gratissimum* L. (Og) et de *Cymbopogon citratus* Stapf. (Cc) (Chapitre III, IV et V) sur deux ravageurs importants (*Sitophilus oryzae* L. et *Tribolium castaneum* Herbst) fréquemment rencontrés ensemble dans les stocks de riz des régions chaudes et humides d'Afrique. Cette étude entre dans le cadre de la recherche de méthodes de lutte alternative contre les insectes ravageurs du riz en post récolte, un domaine encore peu étudié, afin de contribuer à la protection de l'environnement et à la lutte contre l'insécurité alimentaire en milieu rural dans les pays en développement. Au terme de notre travail, il ressort des principaux résultats obtenus, des conclusions et des recommandations qui suivent.

Les expériences effectuées dans le cadre de l'évaluation de la technique traditionnelle de l'étuvage (Chap. II) ont permis d'obtenir de nouvelles informations sur la dynamique des populations d'insectes à savoir leur survie, leur capacité de ponte et leur émergence dans différents types de riz étuvés et non étuvés. Les milieux alimentaires utilisés ont été préparés en collaboration avec la population paysanne. Les analyses ont été effectuées sur *S. oryzae* seul dans les milieux alimentaires en tant que ravageur primaire et sur *S. oryzae* en association avec *T. castaneum* qui est un ravageur secondaire. Les résultats pour la survie ont montré que le nombre moyen d'adultes survivants de *S. oryzae* soit seul ou en association après 15 jours était significativement réduit dans les riz étuvés. Dans le cas de la ponte, une réduction significative du nombre de trous de ponte a été également constatée dans les riz étuvés.

Avec les dénombrements mensuels des adultes émergés survivants, les nombres moyens d'adultes survivants étaient réduits significativement dans les riz étuvés durant les trois mois d'entreposage. Pour *T. castaneum*, la présence des larves de premiers stades (de l'ordre de centaines par bocal) observée après trois mois d'entreposage nous permet de suggérer un ralentissement du cycle de développement de l'espèce. Ces résultats mettent en

évidence l'effet de l'étuvage sur la survie, sur la ponte et la prolifération des ravageurs et confirment notre hypothèse. L'étuvage du riz par cette technique traditionnelle est donc efficace pour sa protection pour une période d'au moins trois mois contre les ravageurs. Le défi est de rendre cette technique encore plus accessible à la population.

Dans le cas des huiles essentielles étudiées, les analyses ont porté sur l'évaluation des effets des poudres d'argiles aromatisées avec leurs huiles essentielles (Chap. III), les effets des huiles essentielles par fumigation (Chap. IV) et de ceux des huiles essentielles mélangées aux milieux alimentaires (Chap. V). Les huiles ont été extraites à partir des plantes récoltées en Guinée et qui sont très répandues en Afrique. Le meilleur rendement moyen a été obtenu avec les feuilles d'*Og*.

Concernant les poudres aromatisées, l'argile utilisée a été choisie parmi trois types d'argile dont deux à l'état naturel (argile rouge et blanche) et une purifiée. Ces trois argiles ont été soumises à des mesures de la conductivité, du pH et de la diffraction de rayons X pour l'identification des éléments minéraux. L'argile blanche à l'état naturel a été retenue à cause de la stabilité de sa conductivité et de son pH d'une part et d'autre part, à cause de la grande quantité de smectite, support d'adsorption pour les molécules d'intérêt agronomique qu'elle contient et de son abondance dans le pays. Son aromatisation avec les trois types d'huiles essentielles a été effectuée au Département de chimie à l'UQAM. Ces poudres ont été associées aux différents types de milieux alimentaires en deux expériences. La première expérience consistait à infester les milieux, les conserver pendant 15 jours pour permettre la ponte avant l'ajout des poudres. Elle permettait de simuler le traitement d'un milieu déjà infesté. Pour la deuxième expérience, les milieux ont été mélangés aux poudres puis infestés immédiatement. Elle cherchait à simuler la protection des stocks non infestés.

Les résultats des analyses, ont montré un effet insecticide des huiles qui variaient selon les types d'expériences, les types de milieux, la nature des huiles essentielles et les espèces d'insectes. Dans le cas du milieu RNEB dans l'expérience 1, les poudres les plus actives étaient celles d'*Ob* et d'*Og* tandis qu'avec le milieu REB, toutes les poudres aromatisées ont

empêché la survie et la prolifération des ravageurs dans les deux expériences. Une différence significative existait entre les deux témoins : riz avec argile non aromatisée et riz seul sans argile. Ceci met en évidence l'effet combiné de l'argile et des huiles essentielles pour les deux expériences. Quant aux paddy, toutes les poudres aromatisées ont montré les effets similaires. Ceci peut être attribué à l'effet des huiles essentielles ou à la capacité des insectes de se cacher dans les grains. *S. oryzae* a été plus sensible aux poudres aromatisées que *T. castaneum*. Concernant les deux expériences, l'expérience 2 a été la plus efficace. La généralisation de l'utilisation de la poudre d'argile blanche naturelle aromatisée par les huiles essentielles de ces plantes dans les pays en développement pourrait représenter une solution alternative à la lutte chimique pour la protection des stocks de riz.

Dans le cas de la fumigation, deux expériences ont été effectuées. La première expérience a porté sur les concentrations de 10 à 100 μl . La deuxième expérience effectuée pour pouvoir déterminer les concentrations létales CL_{50} et CL_{90} a porté sur les concentrations de 2 à 100 μl . Les résultats ont montré que les activités des huiles étaient fonction de la nature des huiles, des concentrations utilisées, du temps d'exposition et des insectes. Pour les huiles d'*Ob* et d'*Og*, les concentrations de 2 à 8 μl avaient peu d'effet insecticide durant les 2 ou 3 premiers jours d'exposition contre les deux insectes. Mais, plus les concentrations étaient élevées, plus le temps de réaction était court. Les CL_{50} pour *S. oryzae* avec l'huile d'*Ob* aux jours 4 et 6, variaient respectivement de 71,4 à 5,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour *T. castaneum*, seulement les données du jour 6 ont été mesurables. Quant à l'huile d'*Og*, elles variaient de 26,5 à 7,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour *S. oryzae*. Pour *T. castaneum*, elles variaient de 35,1, à 8,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'évaluation des huiles essentielles par contact dans les milieux alimentaires a été effectuée en fonction des concentrations en deux expériences. La première consistait à évaluer les effets des concentrations de 1 à 5 μl sur la survie et la prolifération des deux ravageurs dans les milieux aromatisés et infestés immédiatement. La deuxième consistait à évaluer les effets des concentrations de 10 à 50 μl dans les milieux infestés et conservés pour la ponte avant l'ajout des huiles essentielles. Les résultats de l'expérience 1, ont montré des effets insecticides variant en fonction des huiles essentielles, des concentrations utilisées, des

milieux alimentaires et des insectes. Les huiles d'*Ob* et d'*Og* ont été plus actives que celle de *Cc*. Dans tous les milieux alimentaires et pour toutes les huiles, une diminution graduelle de survie des insectes a été observée en fonction des concentrations ainsi qu'une faible survie des deux ravageurs surtout dans les milieux étuvés. Ceci indique non seulement les effets insecticides des huiles essentielles dans les milieux mais aussi ceux de l'étuvage. Quant à l'huile de *Cc*, les concentrations de 1 à 3µl ont été pour la plupart non différentes des témoins.

Dans le cas de l'expérience 2 (milieux infestés 15 jours avant l'ajout des huiles), toutes les huiles utilisées ont empêché l'émergence, la survie et le développement des insectes. Aucun adulte survivant n'a été dénombré dans les milieux utilisés pour toutes les concentrations utilisées sauf dans leur témoin. Ceci indique la toxicité des huiles tant pour les œufs que pour les adultes surtout dans le traitement des milieux infestés. L'utilisation des huiles essentielles dans les grains pourrait représenter aussi une solution alternative à la lutte chimique.

En somme, toutes nos expériences sur l'étuvage traditionnel et sur les huiles essentielles ont montré la sensibilité de *S. oryzae* et de *T. castaneum* ainsi que des activités insecticides des huiles essentielles étudiées. L'originalité de ce travail repose sur les associations des techniques réalisées à savoir le mélange du riz étuvé aux poudres d'argile aromatisée, aux huiles essentielles pure et ainsi que sur l'utilisation de l'argile naturelle non purifiée contre nos ravageurs ciblés. Mais, ces résultats obtenus sont encore fragmentaires étant donné que nous n'avons pas pu étendre nos expériences à toutes les espèces de ravageurs qui attaquent les grains de riz en post-récolte, aux ennemis naturels, à d'autres espèces de plantes locales à propriété insecticides existantes et aux études ethnobotaniques concernant les effets des huiles sur la qualité des grains et sur l'avis des fermiers. Toutefois, les informations obtenues pourraient servir de base solide pour la sensibilisation des populations afin de valider leur expérience traditionnelle comme outil de lutte écologiquement et économiquement viable pour la protection des denrées en post-récolte particulièrement le riz avant la formulation d'autres produits biodégradables.

Par ailleurs, nos résultats et ceux de la littérature concernant les huiles essentielles étudiées montrent que ces huiles ont une efficacité à large spectre, mais avec spécificité pour certaines classes ou ordre d'insectes. Ils marquent également l'évolution des méthodes d'analyse depuis quelques décennies étant donné qu'il est possible maintenant d'identifier et d'isoler les composés autrefois inconnus. Ceci permet de faire des extractions des principes actifs des huiles pour la préparation des insecticides et de développer de nouveaux mélanges pouvant avoir un effet additif ou synergique contre les ravageurs. Dans ces conditions, il serait intéressant de mettre l'accent sur la culture et l'exploitation durable des espèces visées, ainsi que les avantages qui en découlent pour les femmes en vue de la production des huiles essentielles qui serviraient pour la préparation des insecticides. Pour ce faire, nous recommandons la poursuite des recherches sur :

- l'évaluation des effets de nos huiles essentielles sur les insectes utiles et d'autres insectes nuisibles des stocks de denrées;
- l'évaluation des effets des autres plantes aromatiques locales sur les insectes utiles et nuisibles des grains;
- l'évaluation des effets des huiles essentielles sur la qualité organoleptique et nutritionnelle du riz en menant les enquêtes au près des consommateurs à propos des intérêts et l'importance de leur application.;
- l'identification des principes actifs des huiles essentielles des plantes locales et leur formulation dans les laboratoires des centres de recherche afin d'aider d'autres chercheurs dans leurs travaux d'évaluer et à inciter les collectivités à utiliser ou à conserver de façon durable, leurs stocks et leurs ressources en plantes médicinales.

Nous recommandons enfin aux paysannes et agriculteurs guinéens de s'associer pour constituer des unités de production de plantes aromatiques telle que les plantes du genre *Ocimum basilicum* et genre *Cymbopogon* à cause de leurs importances dans l'alimentation, en médecine et dans les industries. La maîtrise de cette production pourrait aider à une

meilleure utilisation de la biodiversité capable de promouvoir des produits nouveaux durables à l'aide de technologies simples et accessibles aux communautés rurales. Éventuellement, la commercialisation des essences végétales pourrait être une activité génératrice de revenus très rentable pouvant constituer pour les paysans un outil de développement durable et de lutte contre la pauvreté. La création des unités de production des plantes aromatiques serait également une initiative pour la création d'autres groupements comme ceux des étuveuses qui seront des sources d'emploi et de valorisation des produits alimentaires locaux.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

- Addea-Mensah, I. 1998. «The uses of the neem (*Azadirachta indica*)» In *Ghana and their relations of the chemical constituents and Biological activities. Proc. Seminar held in Dodowa: the potentials of the neem trees in Ghana*. 11-26.
- Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1999-2001. *Les insectes granivores*. Université du Manitoba : Department of Biosystems Engineering, 13 p.
- Alzouma, I., Huignard J., et Lenga, A. 1994. «Les coléoptères Bruchidae et les autres insectes ravageurs des légumineuses alimentaires en zone tropicale». In *Post-Récolte, principes et application en zone tropicale*, ESTEM/AUPELF, p.79-103. Verstraeten Eds.
- Alzouma, I. 1990. Les problèmes de la post-récolte en Afrique Sahélienne, In : Foua-Bi K, Philogène B. (éds). *La post-récolte en Afrique. Actes du Séminaire International de la post-récolte en Afrique*, Abidjan, Côte-d'Ivoire, 29 janv. - 1^{er} fév. 1990). Montmagny : Aupelf-Uref, 22-7.
- Alzouma, I. et Boubacar, A. 1987. Effets des feuilles vertes de *Boscia senegalensis* (Capparidacée) sur la biologie de *Bruchidius atrolineatus* et *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae), ravageurs des graines de niébé. In *Colloque International sur les légumineuses alimentaires en Afrique* (Niamey-Niger, 19-22 novembre 1985), 288-295.
- Anonyme. 1981. Post Harvest Problems, GTZ, Eschborn, 258 p.
- Arnason, J.T., Durst. T., Philogène, B.J.R. et Scott, L.M 2008. Prospection d'insecticides phytochimiques de plantes tempérés et tropicales communes ou rares,. 88-99. In *Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R. et Vincent, C. (éds). Biopesticides d'origine Végétale 2^{ème} édition*. Lavoisier, Paris, TEC & DOC, 550p.
- Arnason, J.T., Kinnon, M.C.S., Isman, M.B. et Durst, T. 1992. «Insecticides in tropical plants with non neurotoxic mode of action, Recent Adv». *Phytochemistry*, 28: 107-131.
- Baba-Moussa, F., Koumaglo, K., Ayedoun, A., Akpagana, K., Moudachirou, M., et Bouchet, P. 1997. «Activité antifongique d'huiles essentielles extraites au Bénin et au Togo». *Cryptogamie, Mycol.*, 18, 2 : 165-168.
- Balachowsky, A.S. 1963. *Entomologie Appliquée à l'agriculture, Tome I, Vol. 2*. Paris (V^{ième}), Masson et Cie, 1070-1098.
- Bekele, J. et Hassanali, A. 2001. «Blend effects in the toxicity of the essential oil constituents of *Ocimum kilimandscharicum* and *Ocimum kenyse* (Labiatae) on tow post-harvest insect pests». *Phytochemistry*, 57: 385-391.

- Bekkaoui, A., et Thibout, E. 1992. «Rôle des substances cuticulaires non volatiles d'*Acrolepiopsis assectella* (Lep : Hyponomeutoidea) dans la reconnaissance de l'hôte par les parasitoïdes *Diadromus pulchellus* et *D. collaris* (Hym : Icheumonidae)». *Entomophaga*, 37: 627-639.
- Bekon, K., et Fleurat-Lessard, F. 1989. «Évolution des pertes en matière sèche des grains dus aux ravageurs secondaires : *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coléoptère ; Tenebrionidae), lors de la conservation des céréales». In *Céréale en région chaudes. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris*, 97-104.
- Bélanger, A., et Dextraze, L. 1998. «Composition chimiques des huiles essentielles de plantes aromatiques du Burkina Faso». *Agric. et Agroalimentaire*, 25p.
- Bhattacharya, K. 1985. «Parboiling of rice». In (ed) de Juliano, B. *Rice Chemistry and Technology. American Association of cereal chemists* St. Paul, MN, USA, 289-348.
- Borgemeister, C., Meikle, W.G., Adda, C., Degbey, P., et Markham, R. H., 1997. «Seasonal and meteorological factors influencing the annual flight cycle of *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae) and its predator *Teretriosoma nigrescens* (Coleoptera: Histeridae) in Benin». *Entomological Research*, 87:239-246.
- Bostanian, N.J., Akalach, M. et Chiasson, H. 2005. Effects of a *Chenopodium*-based botanical insecticide/acaricide on *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) and *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae). *Pest Man.. Sci.*, 61: 979-984.
- Bousquet, Y. 1990. *Beetles associated with stored products in Canada : An identification guide. Agric. Can.*, 224p.
- Boye, J., Burde, S., Keil, H., Laborius, G.-A., et Schulz, F.A. 1988. «The possibilities for biological integrated control of the larger grain borer (*Prostephanus truncatus* (Horn) in Africa». In Schulten, G. G. M. and Toet, J. A. (eds.), *Workshop on the containment and control of the larger grain borer, Arusha, Tanzania Food and Agriculture Organization, Rome, United Nations*, 110-139.
- Camara, A. 2005. Rapport présenté comme exigence partielle du doctorat en science de l'environnement. Problématiques scientifiques des OGM avec emphase sur la phytoproduction en pays tropicaux, 50 p.
- Camara, A.B. 1997. Rapport de mission d'étude sur la transformation du riz local. Le matériel de décorticage et la technologie de l'étuvage en Guinée. Programme d'appui à la sécurité Alimentaire PASAL), Ministère de l'Agriculture des eaux et Forêts. Conakry. Guinée, 10p.
- Carlos José Sousa Passos. 2006. «Exposition humaine aux pesticides : un facteur de risque pour le suicide au Brésil». *Vertigo-La revue en science de l'environnement*, 7 : 18p.

- Casida, J. H. 1990. «Pesticide mode of action, evidence for implications of a finite number of biochemical targets». In: Casida J.E., éd. *Pesticides and Alternatives, Innovative Chemical and Biological Approaches to Pest Control*. Amsterdam: Elsevier, 11-22.
- Casida, J.E., et Quistad, G.B. 1995. *Pyrethrum Flowers: Production, Chemistry, Toxicology and Uses*. Oxford Univ. Press, Oxford, UK. 356p.
- Caswell, G.H. 1968. «The storage of cowpea in Northern States of Nigeria». *Proc. Agric. Soc. Niger*, 5 : 4-5.
- Chander, H., Kulkarni, S.G. et Berry, S.K. 1992. «Studies on turmeric and mustard oil as protectants against infestation of red flour beetle, *Tribolium castaneum* Herbst in stored milled rice »: *J. Insect. Sci.*, 5220-222.
- Chander, H., Kulkarni, S.G., et Berry, S.K. 1991. «Effectiveness of turmeric powder and mustard oil as protectants in stored milled rice against the rice weevil, *Sitophilus oryzae* L.». *Pest Control*, 494-97.
- Chiasson, H., Bélanger, A., Bostanian, N.J., Vincent, C. et Poliquin, A. 2001. «Acaricidal properties of *Artemisia absinthium* and *Tanacetum vulgare* (Asteraceae) essential oils obtained by three methods of extraction». *J. Econ. Entomol.* 94 :167-171.
- Chiasson, H., Bostanian, N.J. et Vincent, C. 2004a. «Acaricidal properties of a *Chenopodium*-based biopesticides». *J. Econ. Entomol.*, 97: 1373-1377.
- Chiasson, H., Delisle, U., Bostanian, N.J. et Vincent, C. 2008. Recherche, développement et commercialisation de FACIN, un biopesticide d'origine végétale. Étude d'un cas de réussite en Amérique du Nord, p. 451-463. In Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R. et Vincent, C. (éds). *Biopesticides d'origine Végétale 2^{ème} édition*. Lavoisier, Paris, TEC & DOC, 550p.
- Chiasson, H., Vincent, C. et Bostanian, N.J. 2004b. «Insecticidal properties of a *Chenopodium*-based biopesticide». *J. Econ. Entomol.*, 97: 1378-1383.
- Cloutier, C., Cloutier, C. 1992. «Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures». In, *la lutte biologique*, Vincent, C., et Coderre, D. (éd). Boucherville, Gaëtan Morin Ed., p.19-88.
- Cohen, E., Quistad, G.B., Casida, J.E. 1996. Cytotoxicity of nimbolide, eopsyazadiradione and other limonoids from neem insecticide. *Life Sciences*, 58: 1075-1081.
- Commission canadienne des grains. 2001. *Guide officiel du classement des grains*. Winnipeg (Man.), Commission canadienne des grains, 451p.

- Commission canadienne des grains. 2004. *Gestion de la qualité du grain entreposé*. Winnipeg (Man.), Commission Canadienne des grains, 6p.
- Condé, N. 2000. «Étude comparative de la valeur alimentaire du riz étuvé et non étuvé: cas d'une variété locale». Mémoire de fin d'études supérieures, Université de Conakry, Guinée, 25 P.
- Cruz, J.F., Troude, F., Griffon, D. et Hébert, J.P., 1988. *Conservation des grains en régions chaudes, Techniques rurales en Afrique*. 2^{ème} éd., France, 545 p.
- D'Aguilar, J., Favral, A. 2004. Glossaire entomologique : *La bibliothèque du naturaliste*. Lavoisier, 179p.
- Danho, M. et Haubruge, É. 2003. «Comportement de ponte et stratégie reproductive de *Sitophilus zeamais*». *Phytoprotection*, 84 : 59-67.
- Dauguet, S., Lacoste, F., Ticot, B., Loison, J-P., Evrard, J., Bouchtane, B. et Soulet, B. 2006. «La filière oléagineuse se mobilise autour de la problématique des résidus d'insecticides. Qualité et sécurité sanitaire des aliments». *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*. 13 :6, 373-377.
- Delobel, A., Malonga, P. 1987. «Insecticidal properties of six plants materials against *Caryedon serratus* (OL.) Coleoptera: Bruchidae». *J. Stored Prod. Res.*, 23 : 173-6.
- Delobel, A., et Tran, M. 1993. *Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes*, ORSTOM/CTA, Paris: 425 p.
- FAO, 1990. Protein quality evaluation. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'Agriculture. 4-3.
- FAO, 2001a. Deuxième forum mondial FAO/OMS des responsables de la sécurité sanitaire des aliments. *Bangkok (Thaïlande), 12-14 octobre 2004*.
- FAO, 2001b. Les pesticides périmés menacent l'Afrique d'une catastrophe sanitaire. *Afrique relance*. ONU, 15 : 42 p.
- FAO. 2003. *Année Internationale du riz-2004. Conférence , Trente-deuxième session C*, Rome, 2003-17.
- Farr, S.L., Cooper, G.S., Cai, J., Savitz D.A. et Sandler D.P. 2004. «Pesticide use and menstrual cycle characteristics among premenopausal women in the agricultural health study». *Am. J. Epidemiol.*, 160: 1194-1204.
- Fields, P.G., Hou, X. et Taylor, W. 2006. «Effect of pea flour and pea flour extracts on *Sitophilus oryzae*». *Can. Entomol.*, 138 :95-103.

- Fleurat-Lessard, F. 1982. «Les insectes et les acariens». In Multon J. L., *Conservation et stockage des grains et produits dérivés*. Vol. 1, Paris, Lavoisier, 394-436.
- Fleurat-Lessard, F. 1994. «Écophysiologie des Arthropodes nuisibles aux stocks de céréales en Afrique tropicale». In *Post-Récolte, principes et application en zone tropicale*, ESTEM/AUPELF Verstraeten, 1-61.
- Foua-Bi, K. 1992. Préambule. In : Foua-Bi K, Philogène B, eds. 1990. *La post-récolte en Afrique : Actes du Séminaire International de la Post-Récolte en Afrique*, Abidjan, Côte d'Ivoire 29 jan - 1^{er} fév. Montmagny. Aupelf-Uref, 152-4.
- Foua-Bi, K. 1993. Produits naturels utilisés dans la préservation des stocks en Afrique noire, 84-95. In, Thiam, A. et Ducommun, G. (eds). *Protection naturelle des végétaux en Afrique*. ENDA, Tiers-monde, Dakar.
- Franchomme, P., Jollois, R. et Pénoel. 1990. In «*L'aromathérapie exactement*», Roger Jollois, (ed), Limoges, France, 44-48.
- Gakuru, S. et Foua-Bi, K. 1995. «Effet comparé des huiles essentielles de quatre espèces végétales contre les bruches du niébé (*Callosobruchus maculatus* Fab.) et le charançon du riz (*Sitophilus oryzae* L.)» *Tropicultura* 13, 4: 143-146.
- Gariboldi, F. 1984. «Rice parboiling». *FAO. Agric. Serv. Bull.* 56. Rome, FAO. 73 p.
- Garneau, F.-X. 2001. Notes du cours *Produits naturels*. Département des sciences fondamentales, UQAC, Chicoutimi, Québec. 17p.
- Garneau, F.-X., Gagnon, H., Jean, F.-I., Koumaglo, H.K., Moudachirou, M. et Addae-Mensah, I. 1996. Les chémotypes de *Lippia multiflora*, *Melaleuca quiquenervia* et *Clausena anisata* du Togo, Bénin et Ghana. In Actes du 3^{ème} colloque produits naturels d'origine végétale. Edt) Collin, G. et Garneau, F.-X. LASEVE_UQAC' Chicoutimi, Québec. P. 125-135.
- Gauvin, M.-J., Bélanger, A., Nébié, R. et Boivin, G. 2003. «*Azadirachta indica* : l'azadiractine est-elle le seul ingrédient actif?». *Phytoprotection*, 84 :115-119.
- Gilliom, R.J., Barbash, J.E., Kolpin, D.W. et Larson, S.J. 1999. «Testing water quality for pesticide pollution.U.S. Geological survey investigation reveal widespread contamination of the nations water resources». *Environ. Sci. Technol.*, 33, 164A-169A.
- Glitho, I.A. 2002. Post-récolte et biopesticides en Afrique. In Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R. et Vincent, C. (eds). *Biopesticide d'origine Végétale 1^{ère} édition*. Lavoisier, TEC & DOC, Paris, 313-321.

- Glitho, I.A., Ketoh, K.G., Nuto, P.Y., Amevoin, S.K. et Huignard, J. 2008. Approches non toxiques et non polluantes pour le contrôle des populations d'insectes nuisibles en Afrique du Centre et de l'Ouest. 207-217. In Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R. et Vincent, C. (éds). *Biopesticide d'origine Végétale 2^{ème} édition*. Lavoisier, TEC & DOC, Paris, 550p.
- Glitho, I.A., Ketoh, K.G. et Koumaglo, H.K. 1997. «Effet de quelques huiles essentielles sur l'activité reproductrice de *Callosobruchus maculatus* Fab». *Ann. Univ. Ouagadougou*, 5 : 175-184.
- Greathead D.J. 1992. Natural enemies of tropical locust and grasshoppers: their impact and potential as biological control agents. In: Lomer, C. J., Prior, C. (éds.), *biological Control of Locusts and Grasshoppers*. CAB International, UK, 105-121.
- GTZ. 1980. Problème de post-récolte, documentation sur un séminaire OUA-GTZ. Typo-Druck-Rossdorf de GMH, D-6101 Rossdorf, Bruchwiesenweg 19, Rep. Fédérale d'Allemagne, 288 P.
- Gurusabramanian, G. et Krishna S.S. 1996. «The effects of exposing eggs of four cotton insect pests, to volatiles of *Allium sativum* (Liliaceae) ». *Entomol. Res.*, 86, 29-31.
- Gwinner, J., Harnisch, R. et Muck, O. 1996. Manuel sur la manutention et la conservation des grains après récolte, GTZ, Eschborn, 368p.
- Hall, D.W. 1970. *Handling and Storage of Food Grains, in Tropical and Subtropical Areas*, FAO. Rome, 350 p.
- Haryadi, Y., Fleurat-Lessard, F. 1994. «Factors affecting survival, and development of *Sitophilus oryzae* L.». In rice grain, pericarp layers. In: Highley, E., Wright, E. J., Banks, H. J., Champ, B. R. (Eds), *Proceedings of the Sixth International Working Conference on Stored-Products Protection*. CAB International, Wallingford, United Kingdom, 525-527.
- Haubruge, E. Shiffers, B. Gabriel, E. Verbruggen. 1988. «Étude de la relation dose efficacité de six insecticides à l'égard de *Sitophilus granarius* L., *S. oryzae* L., et *S. zeamais* Mots. (Col., Curculionidae) ». *Med. Fac. Landbouww Ryksuniv. (Gent)*, 53: 719-26.
- Helbig, J. 1995. «Écologie de *Prostephanus truncatus* au Togo examinée notamment du point de vue des interactions avec le prédateur *Teretriosoma nigriscens*». GTZ, Eschborn, Germany, 111p.
- Ho, S. H., Koh, L., Ma, Y., Huang, Y., et Sim, K. Y. 1996. «The oil of garlic, *Allium sativum* L. (Amaryllidaceae), as a potential grain protectant against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus zeamais* Motsch». *Postharvest Biol. Technol.*, 9: 41-45.

- Hori, M. 1996. «Settling inhibition and insecticidal activity of garlic and onion against *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae)». *Appl. Entomol. Zool.*, 31: 605-612.
- Isman, M.B., 1997a. «Neem and other botanical insecticides: barriers to commercialization». *Phytoparasitica*, 25: 339-344.
- Isman, M.B. 1997b. «Neem insecticides». *Pesticide Outlook*, 8, 5: 32-38.
- Isman, M.B, Matsuura, H., Mackinnon, S., Durst, T., Towers, G.H.N. et Arnason, J.T. 1996. «Phytochemistry of the Meliaceae, Recent Adv». *Phytochem*, 30: 155-178.
- Isman, M.B. 1995. «Leads and prospects for the development of new botanical insecticides». *Rev. Pestic. Toxicol.*, 3: 1-20.
- Isman, M.B. 1998. «Neem and related Natural Products», in *Biopesticides. Use and Delivery* (Franklin R. H. Et J.J. Menn) (eds) *Humana Press, Totowa, New Jersey*, 139-154.
- Isman, M.B. 2000. «Plant essential oils for pest and disease management». *Crop Protection*. 19: 603-608.
- Isman, M.B. 2006. «Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world». *Ann. Rev. Entomol.*, 51:45-66.
- Iwuala, M.O.E., Osisogu, I.W.W. et Agbakwuru, E.O. 1981. «Dennettia oil and potential new insecticides: test with adults and nymphos of *Periplaneta americana* L. and *Zonocerus variegatus* L.». *J. Econ. Entomol.*, 74: 249-252.
- Jaque, A. F. D. et Niestlé. 2004. *Glossaire entomologique* Paris, 224 p.
- Jilani, G., et Su, H.C.F. 1983. «Laboratory studies on several plant materials as insect repellents for protection of stored grains». *J. Econ. Entomol.*, 76: 154-157.
- Jilani, G., Saxena, R.C., et Rueda, B.P. 1988. «Repellent and growth inhibitory effects of turmeric oil, sweetflag oil, neem oil et Margosan, O., on red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae)». *J. Econ. Entomol.*, 81: 11226-1230.
- Johnson, M.A. 1984. «Biosynthesis of ascaridole». *Arch. Biochem. Biophys.*, 235 : 254-6.
- Juliano, B.O. et Bechtel, D.B. 1985. «The rice grain and its gross composition. In B.O. Juliano (ed.), *Rice chemistry and technology, 2nd ea*». *Am. Assoc. Cereal Chem.* St Paul, MN, USA, 17-57.
- Kéita, S.M., Arnason, J.T., Baum, B.R., Marles, R., Camara, F., et Traoré, A.K. 1999. «Étude ethnopharmaologique traditionnelle de quelques plantes médicinales anthelminthiques de la Haute-Guinée (République de Guinée)». *Revue Med. Pharm. Afr.*, 13 :49-64.

- Kéita, S.M., Vincent, C., Schmidt, J.P. et Bélanger, A. 2000a. «Essential oil composition of *Ocimum basilicum* L., *O. gratissimum* L. and *O. suave* L. In the Republic of Guinea». *Flavour and Fragrance Journal*, 15: 339-341.
- Kéita, S.M., Vincent, C., Schmidt, J.P., Ramaswamy, S. et Bélanger, A. 2000b. «Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae)». *J. Stored. Products Res.*, 36: 355-364.
- Kéita, S.M., Vincent, C., Schmit, J.P., Arnason, J.T. et Bélanger, A. 2001a. «Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. Applied as an insectidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera: Bruchidae)». *J. Stored Prod. Res.*, 37:339-349.
- Kéita, S.M., Vincent, C., Schmidt, J-P. et Arnason, J.T. 2001b. «Insecticidal effets of *Tuja occidentalis* (Cupressaceae), Essential oil on *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera:Bruchidae) ». *Can. J. Plant. Sci.*, 81: 173-177.
- Ketoh, G.K., Glitho, A.I. and Huignard, J. 2002. «Susceptibility of the Bruchid *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera:Bruchidae) and its Parasitoid *Dinarmus basalis* (Hymenoptera: Pteromalidae) to three Essential oils». *J. Econ. Entomol.*, 95: 174-182.
- Ketoh, G.K., Glitho, I.A. Koumaglo, K.H., et Nuto, Y. 1998. «Effets de quelques huiles essentielles sur les oeufs et les larves de *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera : Bruchidae)». *Revue CAMES Sciences et Médecine*, 00 : 16-20.
- Koba, K., Poutouli, P.W., Raynaud, C. Chaumont, J-P. et Sandal, K. 2009. «Chemical composition and antimicrobial properties of different basil essential oils chemotypes from Togo». *Bangladesh J. Pharmacol.*, 4: 1-8.
- Koumaglo, K.H., Akpagana K., Glitho I.A., Garneau, F.X., et Gagnon H. et Jean F-I. 1996b. «Geranial and Neral, Major Constituents of *Lippia multiflora* Moldenke Leaf Oil». *J. Essent. Oil Res.*, 8 : 237-240.
- Koumaglo, K.H., Akpagana, K., et Glitho, I.A. 1994. «Essential Oil of *Diplophium africanum* Turcz». *J. Essent. Oil Res.*, 6: 449-452.
- Koumaglo, K.H., Dotse, K., Akpagana, K et, Glitho, I.A. 1996a. «Les obstacles à la valorisation des plantes aromatiques non conventionnelles : Expérience du Togo». In : *Produits naturels d'origine végétale. Actes du Colloque de Saint-Jean-sur-Richelieu*, Ed. Collin G. et Garneau F-X., Chicoutimi, 95-102.
- Koumaglo, K.H., Guillaume, K., Kétoh, K., et Glitoh, I.A. 1998. L'huile essentielle de *Cymbopogon Schoenanthus*, un biopesticide efficace contre *Callosobruchus maculatus* F., prédateurs du niébé. *Actes du Colloque* (Ottawa, 26-29 mai 1998), 151-159.

- Kumar, R. 1991. La lutte contre les insectes ravageurs: L'agriculture en régions tropicales. Karthala C. T. A (éds). Paris, France., MITL, MSFT. 177-2285p.
- Lale, N.E.S. 1991. «The biological effects of three essential oils on *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae)». *J. Afric. Zool.*, 105: 357-362.
- Larocque, N., Vincent, C., Bélanger et Bourassa. 1999. «Effets of tansy essential oil from *Tanacetum vulgare* on biology of oblique-banded leafroller, *Choristoneura rosaceana*». *J. Chem. Ecol.*, 25: 1319-1330.
- Léonard, S.T.N. 2004. «A la recherche d'une alternative aux polluants organiques persistants». In *Bul. D'information Phytosanitaire- Phytosanitary News Bulletin* .43 Avril - juin 2004.
- Lucas, E., et Riudavets, J. 2000. «Lethal and sublethal effects of rice polishing process on *Sitophilus oryzae* (Coleoptera : Curculionidae)». *J. Econ. Entomol.*, 93 : 1842-1847.
- Lundgren, L. 1975. «Natural plant, chemicals acting as oviposition deterrents on cabbage butterflies *Pieris brassicae* L., *P. rapae* L., and *P. napi* L.». *Zool. Scripta*, 4: 253-258.
- Larousse, D. 1987. Dictionnaire encyclopédique pour tous. Sous la direction de Bruno Rhmer et Bernard Willerval. Librairie Larousse, Paris. 1799 p.
- Malik, M., Mujtaba, M., Naqvi, S.H. 1984. «Screening of some indigenous plants as repellants or antifeedants for stored grain insects». *J. Stored. Prod. Res.*, 20 : 41-4.
- Markham, R.H., Bosque-Pérez, N.A., Borgemeister, C. et Meikle, W.G. 1994. «Developing pest management strategies for *Sitophilus zeamais* and *Prostephanus truncatus*» *Tropics FAO plan prot.* 42: 97-116.
- McCarron, M., Mills, A.J. Whittaker, D. Sunny, T.P. and Verghese J. 1995. «Comparison of the monoterpenes derived from green leaves and fresh rhizomes of *Curcuma longa* L. From India»: *J. Flav. Frag.*, 10: 355-357.
- McGaughey, W.H. 1974. «Insect development in milled rice: effect of variety, degree of milling, parboiling and split kernels». *J. Stored Prod. Res.*, 10: 81-88.
- Ministère des Travaux publics et de l'Environnement. 2005. *Monographie Nationale : Présentation générale de Guinée*. Centre d'échange de la République de Guinée. 146p.
mistowa.org/files/corpao1_2006/CRPA032006_4_Observatoire_Riz_Guinee.pdf
- Monge, G.P. Germain, J. F. et Huignard, J. 1988. Importance des variations thermiques sur l'induction de la diapause reproductrice chez *B. atrolineatus* Pic. (Coleoptera : Bruchidae), Ecology and coevolution. Kluwer Academic Publishers, 91-100.

- Morallo-Rejesus, B.H. Maini, Sayaboc, A.S., Hernandez, H. et Quihtana, E. 1992. «Insecticidal action of *Curcuma longa* L., To *Plutella xylostella* and *Nilaparvata lugens* Stal, ». In P.A.C. Ooi, Lim, G.S. And P.S. Teng (ed.), *Proceeding of the 3rd International Conference on plant Protection in the Tropics, Kualalampure, Malaysia; Malaysian. Plant. Protection Society*, 2: 91-94.
- Mordue, A.J., et Blackwell, A. 1993. «Azadirachtin: an update». *J. Insect Physiol.* 39 : 903-924.
- Mullié W.C., Keith, J.O. 1993. «The effects of aerially applied fenitrothion and chlorpyrifos on birds in the savannah of northern Senegal». *J. Appl. Ecol.*, 30: 536-550.
- Nasseh, M.O. 1981. «Zur Wirkung von Rohextrakten aus *Allium sativum* L. Auf Frassaktivität und Metamorphose von *Epilachna varivestis* Muls (Col., Coccinellidae)». *Z. Ang. Ent.*, 92: 464-471.
- Niber, N.B., Hellenius, J. et Varis, A.L. 1992. «Toxicity of plant extracts to three storage beetles (Coleoptera)». *J. Appl. Ent.* 113: 202- 208.
- Ntezurubanza, L. 2000. «Les huiles essentielles du Rwanda». LASEVE-UQAC, Chicoutimi, Québec. 17p.
- Obeng-Ofori, D., et Reichmuth, C.H. 1997. «Bioactivity of eugenol, a major component of *Ocimum suave* Wild against four species of stored product Coleoptera». *J. Pest Man.*, 43: 89-94.
- Obeng-Ofori, D., Reichmuth, C.H., Bekele, J. Hassanali, A. 1997. «Biological activity of 1,8-cineole, a major component of essential oil of *Ocimum kenyense* (Ayobeingira) against stored product beetles». *J. Appl. Ent.*, 121 : 237-43.
- Observatoire riz, 2006. Présentation des activités de l'observatoire riz en Guinée : *Acte de la 1^{ère} conférence régionale sur la situation agricole et alimentaire et les opportunités d'échanges dans le Sahel et en Afrique de l'Ouest*. (Ouagadougou, 20-24 mars 2006), sous la dir. du Ministère de l'agriculture et de l'élevage Guinée, 6p.
- Ogendo, J.O., Deng, A.L., Belmain, S.R., Walker, D.J. et Musandu, A.A.O. 2004. «Effect of Insecticidal Plant Materials, *Lantana camara* L. and *Tephrosia vogelii* Hook, on the Quality Parameters of Stored Maize Grains». *Journal of Food Technology in Africa* 9, 1: 29-35.
- Ojimelukwe, P.C. et Adler, C. 1999. «Potential of Zimtaldehyde, 4-allyl-anisol, linalool, terpineol and other phytochemicals for the control of Confused Flour Beetle (*Tribolium confusum* J.D.V) (Col: Tenebrionidae)». *J. Pest. Sci.*, 72 : 81-6.
- OMS, 1991. L'utilisation des pesticides en agriculture et ses conséquences pour la santé publique. Genève, Suisse, 150p.

- PAN Africa. 2003. Les pesticides au Sénégal 2^{ème} édit. 56p.
- Panisset, J-C., Dewailly, É., Doucet-Leduc, H. 2003. Contamination alimentaire. In environnement et santé publique : fondements et pratiques. Editions TEC et DOC. Edisen, 1023p.
- Parveen, N. et Mondal, K. 1992. «Behavioural response of *Tribolium castaneum* Herbst to turmeric (*Curcuma longa*) powder: Univ». *J. Zool- Rashahi*. 10: 37-41.
- Pati, R.N., Patro, B. et Senapati, B. 1996. «Evaluation of some plant extracts as repellent against the pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* Linn. Infesting green gram seeds»: *Sci Cult.*, 6- 63.
- Paton, A. 1992. «A synopsis of *Ocimum* L. (Labiatae) ». *Africa. Kew*, 47: 403-36.
- Patro, B., et Pati, R.N. 1997. «Insectidal activity of some plant extract, against the pulse beetle, *callosobruchus chinensis* L. Infesting green seeds»: *Sci. Cult.*, 63-91.
- Philogène, B.J.R., Regnault-Roger, C. et Vincent, C. 2008. Biopesticides d'origine végétale : bilan et perspectives, p.1-24. In Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R., Vincent, C. (éds) *Biopesticides d'origine végétale*, 2^{ème} éd., Lavoisier, Paris.
- Pierre, A. 2004. «Huiles essentielles et insectes ravageurs : Tests en labo et sur Terrain». *Acta Bot. Gallica*, 150: 267-274.
- Pingale, S.V., Kadkol, S.B., Rao, M.N., Swaminathan, M., And Subrahmanyam, V. 1957. «Effect of insect infestation on stored grain II. Studies on husked, hand-pounded and milled raw rice, and parboiled milled rice». *J. Sci. Fd. Agric.*, 8: 512-516.
- Porteres, R., 1956. «Taxonomie agrobotanique des riz cultives *O. sativa* L. et *O. glaberrima*». *S. J. Agric. Trop. Bot. Appl.*, 3 : 341-384; 541-580; 627-700; 821-856.
- Prates, H.T, Santos, J.P. Waquil, J.M, Fabris, J.D. Oliveira, A.B. 1998. «Foster J.E. Insecticidal activity of monoterpenes against *Rhyzopertha dominica* F. and *Tribolium castaneum* H.». *J. Stored. Prod. Res.*, 34: 243-9.
- Provost, C., Coderre, D., Lucas, É., Chouinard, G. et Bostanian, N.J. 2003. «Impact d'une dose sublétales de lambda-cyhalothrine sur les prédateurs intraguilles d'acariens phytophages en vergers de pommiers». *Phytoprotection*, 84 : 105-113.
- Quarles, W. 1992. Botanical Pesticides from *Chenopodium*. The IPM Practitioner 14 : 1-11. Pharmacopée Français 1985. Paris; Maisonneuve, Tome 1, 4 : 5- 8.
- Raponda-Walker, A., Sillans, R. 1985. Les plantes utiles du Gabon. Libreville : Fondation Raponda-Walker-Sépia-Centre Culturel Saint Exupéry 1995, 614 p.

- Regnault-Roger C, Hamraoui A, Holeman M, Theron E, Pinel R. 1993. Insecticidal effect of essential oils from mediterranean plants upon *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera : Bruchidae), a pest of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Chem. Ecol.*, 19: 1233-1244.
- Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R. et Vincent, C. 2008. Biopesticides d'origine végétale, 2^{ème} édition, Lavoisier, Paris. édition, 550p.
- Rélinger, L.M., Zettler, J.L., Davis. R. et Simonaitis, R.A. 1988. «Evaluation of pirimiphos methyl as a protectant for export grain». *J. Econ. Ent.*, 81 : 718-21.
- Riudavets, J., et Lucas, É. 2000. «Biological control of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and combined effect with polishing process». *O.I.B.C-W.P.R.S. Bulletin* 23: 143-148.
- Rodgers, P.B., 1993. «Potential of Biopesticides in Agriculture». *Pestic. Sci.*, 117-129.
- Roger, C. Vincent, C. et Coderre, D. 1995. Mortality and predation efficiency of *Coleomegilla maculata lengi* Timb. (Col., Coccinellidae) following application of Neem extracts (*Azadirachta indica* A. Juss. Meliaceae). *J. Appl. Ent.* 119: 439-443.
- Ryoo, M.I., et Cho, H.W. 1992. «Feeding and oviposition preferences and demography of rice weevil (Coleoptera : Curculionidae) reared on mixtures of brown, polished and rough rice». *Environ. Entomol.*, 21: 549-555.
- Saju, K.A., Venugopal, M.N. et Mathew, M.J. 1998. «Antifungal and insect repellent activities of essential of turmeric *Curcuma longa* L.». *Curr. Sci.*, 75: 660-662.
- Sanon, A., Garba, M., Auger, J. et Huiganrd, J. 2002. «Analysis of insecticidal activity of methylisocyanate on *Callosobruchus maculatus*, and its parasitoid *Dimarmus basalis*». *J. Stored Prod. Res.*, 38:129-138.
- Sarla, N. et Mallikarjuna Swamy, B.P. 2005. «*Oryza glaberrima*: A source for the improvement of *Oryza sativa*». *CurrSci*, 89: 955-63.
- Sato Y.-I. 1999. «Origin and dissemination of cultivated rice in the Eastern Asia In: Interdisciplinary Perspectives on the Origins of the Japanese.». *Int. Res. Center Jap. Studies*, Kyoto, 143-153.
- Schafer, E. W. et Jacobson, M. 1993. «Repellency et toxicity of 55 insect repellents to red winged blackbirds (*Angelaus phoeniceus*) ». *J. Environ. Sci. Health.*, 18 : 493-497.
- Schmutterer H, Ermel K, Isman M.B. 2002. The tiam, sentang or marrango tree: *Azadirachta excelsa* Jack. In: Schmutterer H.: *The Neem Tree*, 2e Ed., Neem Foundation, Mumbai, 760-769.

- Schmutterer, H. 1990. «Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. Annu». *Rev. Entomol.*, 35: 271-297.
- Scotn, G. 1973. Les insectes et les acariens des céréales stockées AFNOR/TTCF, Paris, 238p.
- Seck, D.G., Lognay, E., Haubruge, M. Marlier et Gaspar, C. 1996. «Alternative Protection of Cowpea Seeds Against *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) using Hermetic Storage alone or in Combination with *Boscia senegalensis* Pers. Lam. Ex. Poir». *J. Stored Prod. Res.*, 32: 39-44.
- Seck, D., Sidibe, B., Haubruge, E. et Gaspar, C. 1991. *Protection of stores of cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp) at farm level the use of different formulations of neem (Azadirachta indica A. Juss) from Senegal*. Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent. 56, 3b: 1217-1224.
- Sharma, R.N., Gupta, A.S., Patwardhan, S.A., Gupta, S.A., Patwardhan, D.S., Hebbalkar, V.Tare, et Bhonde, S.B. 1992. «Bio activity of *Lamiaceae* plants against insects». *Indian. J. Expl. Biol.*, 30: 43-46.
- Singh, K. 1980. «Influence of milled rice on insect infestation. I. Oviposition and development of post-harvest pests in different types of milled rice». *Zeitschr. Ang. Ent.* 90: 1-9.
- Souaré, D. 1996. Dynamique et stratégies paysannes autour des rizicultures de coteaux et de bas fonds en Guinée forestière. CNEARC. Montpellier. France. 97p.
- Su, H.C.F. 1991. «Toxicity and Repellency of *Chenopodium* oil to four species of stored product insects». *J Ent Sci.*, 26 : 178-82.
- Sube, S., Singal, S.K. et Verma, A.N. 1991. «Evaluation of some edible oils as protectant of chickpea seeds, *C. arietinum* L. against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* L. By preferential feeding method. Proceedings of the 5th International Working Conference on *Stored-Product. Protection*. éd. Fleurat-Lessard, F. et Ducom, P. Bordeaux, 3: 1715-1754.
- Sudhakar, T.R. et Pandey, N.D. 1981. «Chemical Factors in Resistance of Wheat, Raw and Parboiled Rice varieties to *Sitophilus oryzae* L., I. Amino Acid». *Indian J. Ent.* 43: 364-368.
- SWISSEO. 2005. «plantes aromatiques et médicinales». *Cahier des charges*. Institut Suisse des huiles essentielles Certification des huiles essentielles Ed. 11-2005.
- Tapondjou, A.L., Bouda, H., Fontem, D.A., Zapfack, L. Lontsi, D., et Sondengam, B.L. 2000 «Local plants used for traditional stored product protection in the Menoua Division of the western highlands of Cameroon». *Integrated Protection of Stored. Products/IOBC Bulletin*, 23: 73-7.

- Thiam, B. et Ducommun, G. 1993. Protection naturelle des végétaux en Afrique. ENDA, Tiers-monde, Dakar. 213p.
- Thomas, M.B. 1999. «Ecological approaches and the development of truly integrated pest management». *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 96: 5944-5951.
- Throne, J.E. 1994. Life history of immature maize weevils (Coleoptera : Curculionidae) on corn stored at constant temperatures and relative humidities in the laboratory. *Environ. Entomol.* 23 : 1459-1471.
- Traoré, L., et Kalivogui, K. 1995. Principaux insectes nuisibles des denrées stockées, dégâts et méthodes de lutte : cours de formation technique à l'intention des agents privés de traitements phytosanitaires, 75 p.
- Tripathi, A.K.V. Prajapati, K.K. Aggarwal, S.P.S. Khanuja, and S. Kumar. 2001. «Repelleney and toxicity of oil from *Artemisia annua* to certain stored product beetles»: *J. Econ. Entomol.*, 93: 43-47.
- Trumble, J. 2002. «Caveat Emptor: Safety considerations for Natural Products Used in Arthropod control». *American Entomol.*, 48: 13p.
- Tsao, R.S., Lee, P.J. Rice, C. et Jensen, J.R. 1995. «Coats. Monoterpenoids and their synthetic derivatives as leads for new insect control agents: D. R. Baker, J. G. Fenyes G.S. Asarab Synthesis and chemistry of agrochemicals IV». *American Chemical Society*. Washington D.C., 312-324.
- Vaughan, D.A., Morishima, H. et Kadowaki, K. 2003. «Diversity in the *Oryza* genus. Current Opinion.». *Plant Biology.*, 6 : 139-146.
- Vincent, C. et Coderre, D. (eds). 1992. *La lutte biologique*, Gaëtan Morin (Ed.), (Montréal) et Lavoisier Tech Doc. Paris, 671p.
- Vincent, C., Goettel, M.S. et Lazarovits, G. 2007. Biological Control : a Global Perspective. CABI Publishing. Cambridge, Mass, 428p.
- Vincent, C., Hallman, G., Panneton, B. et Fleurat-Lessard, F. 2003. «Management of Agricultural Insects with Physical Control Methods». *Annu. Rev. Entomol.*, 48: 261-281.
- Vincent, C. et Panneton, B. 2001. «Les méthodes de lutte physique comme alternatives aux pesticides». *Revue en science de l'environnement* 2 : 2 p8.
- Vincent, C., Panneton, B., Fleurat-Lessard, F. 2000. La lutte physique en phytoprotection. INRA, Paris. 347p.

- Wania, F., Mackay, D., Li, Y.-F., Bidleman, T.F., et Strand, A. 1999. «Global chemical fate of alpha-hexachlorocyclohexane1. Evaluation of a global distribution model ». *Environ. Toxicol. Chem.*, 18: 1390-1399.
- Weaver, D.K., Dunkel, F.V., Potter, R.C. et Ntezurubanza, L. 1994. «Contact and fumigant efficacy of powdered and intact *Ocimum canum* Sims (Lamiales: Lamiaceae) against *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) adults (Coleoptera: Bruchidae)». *J. Stored Prod. Res.*, 30: 243-252.
- Weidner, H. et Rack, G. 1984. Table de détermination des principaux ravageurs des denrées entreposées dans les pays chauds. GTZ, Eschborn.
- Weissling, T.J., Lewis, T.M., McDonough, L.M. et Horton, D.R. 1997. «Reduction in *pear pear psylla* (Homoptera: Psyllidae) oviposition and feeding by foliar application of various materials». *Can. Entomol.*, 129: 637-643.
- Wheathey, P. E. 1973. Post harvest deterioration: the maize storage problem in less developed countries of Africa. Chem. et Industry, 1049 p.
- Zongo, J., Vincent, C., et Stewart, R.K. 1993. «Effects of neem seed kernel extracts on egg and larval survival of the sorghum shoot fly, *Atherigona soccata* Rondani (Dipt. : Muscidae)». *J. Appl. Entomol.*, 115: 363-369.

PLANCHES ANNEXÉES



Culture sur maïs (a et b)

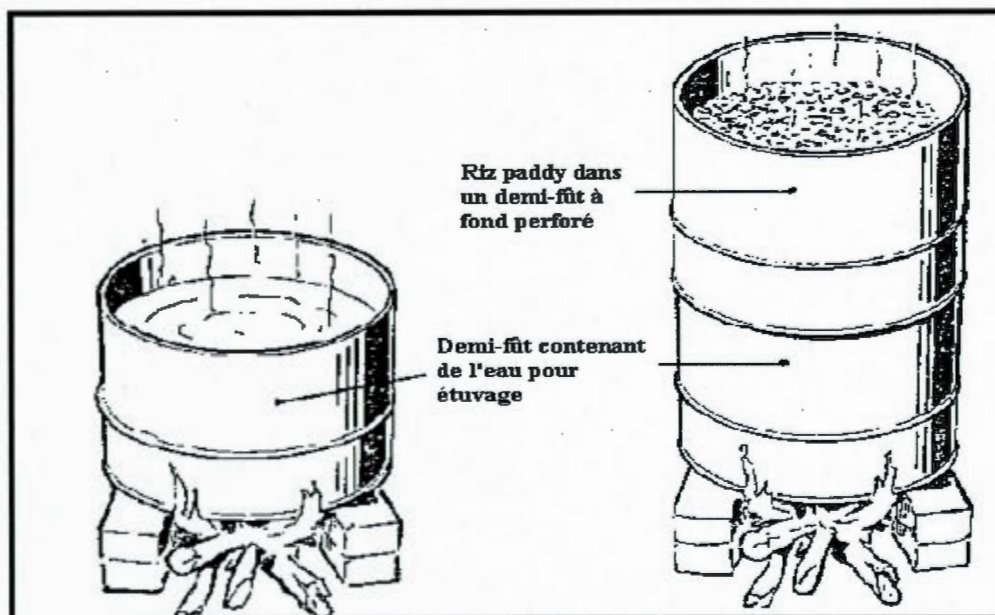


Égrenage du maïs (c) avec les tamis (d)



Cultures sur le riz (e et f)

Annexe 1 : Cultures mères des insectes sur maïs et riz (de a à f)

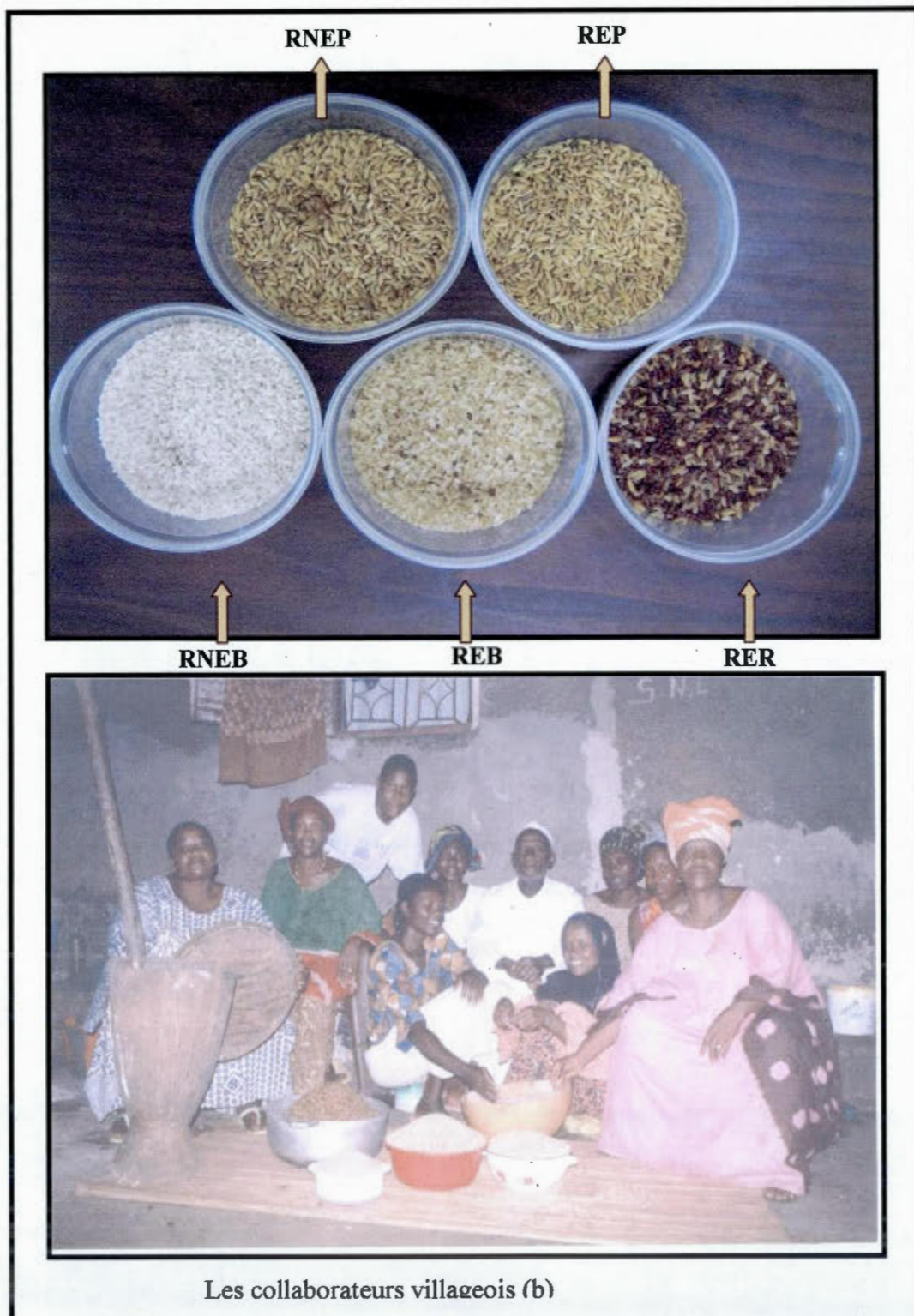


Technique traditionnelle d'étuvage (a)



Séchage du riz étuvé (b)

Annexe 2 : Technique traditionnelle d'étuvage (a) et séchage du paddy étuvé (b)



Annexe 3. Les milieux alimentaires (a) et les collaborateurs villageois (b)



Infestations milieux alimentaires (a)



Visite du Directeur au laboratoire (b)



Milieux alimentaires infestés et entreposés (c et d)

Annexe 4 : Infestation et entreposage des milieux alimentaires (a, c et d) et visite du Directeur de thèse en Guinée (b)



Colorant préparé (a)



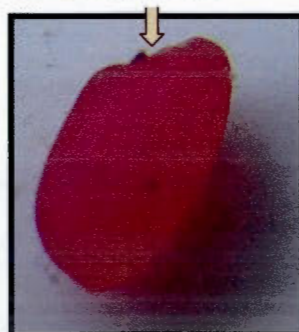
Milieux alimentaires colorés (b)



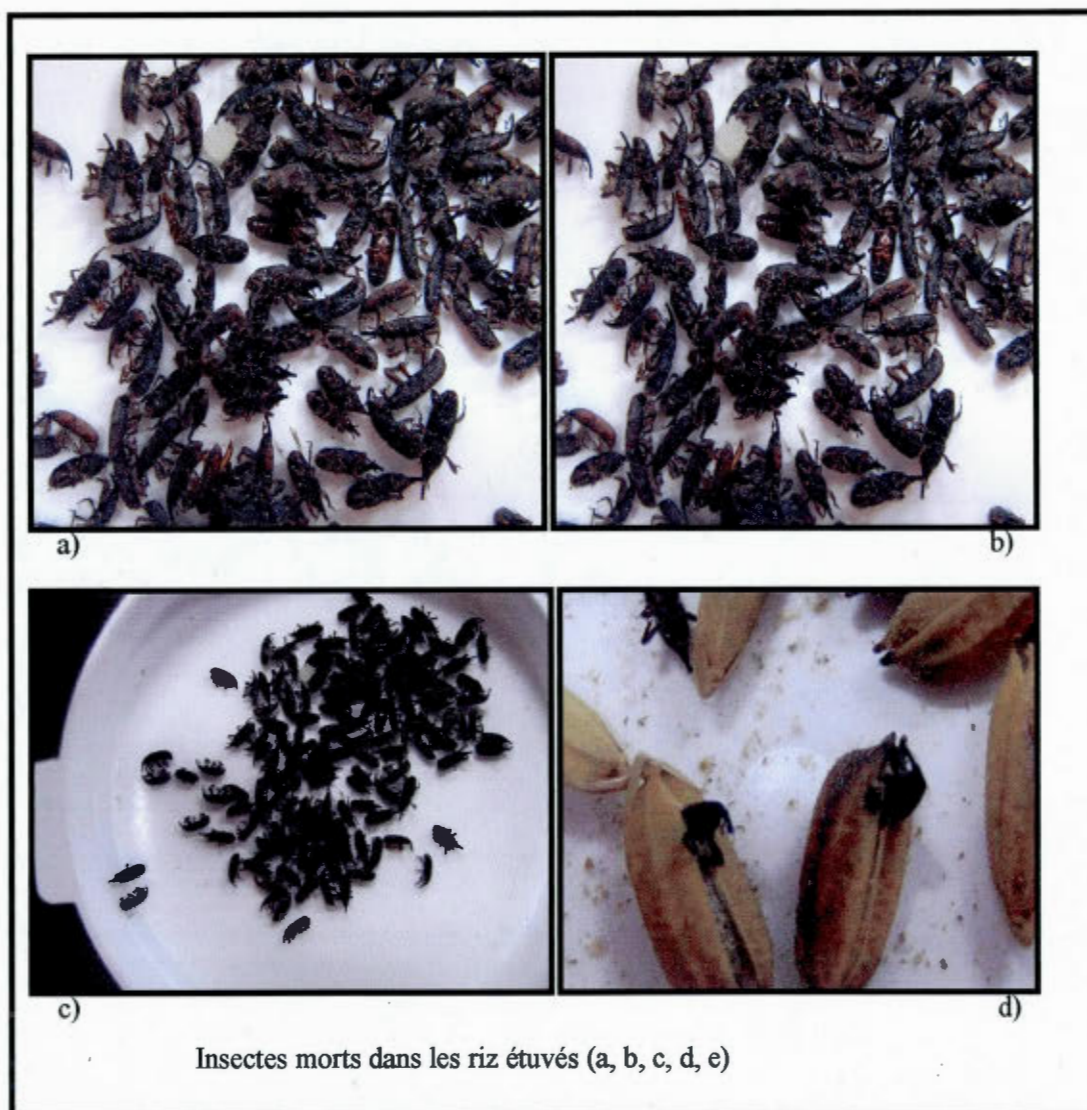
Observation à la loupe et dénombrement des trous de ponte (c et d)



Trous de ponte (e)



Annexe 5: Coloration, observation et dénombrement des trous de ponte



Annexe 6 : Insectes morts éliminés dans les riz étuvés



Découpage des feuilles pour séchage au laboratoire du CERE (a et b)



Feuilles découpées étalées pour séchage (c)

Annexe 7 : Découpage et séchage des feuilles (a, b, c) au laboratoire du CERE



Extraction et décantation des huiles essentielles (a et b)

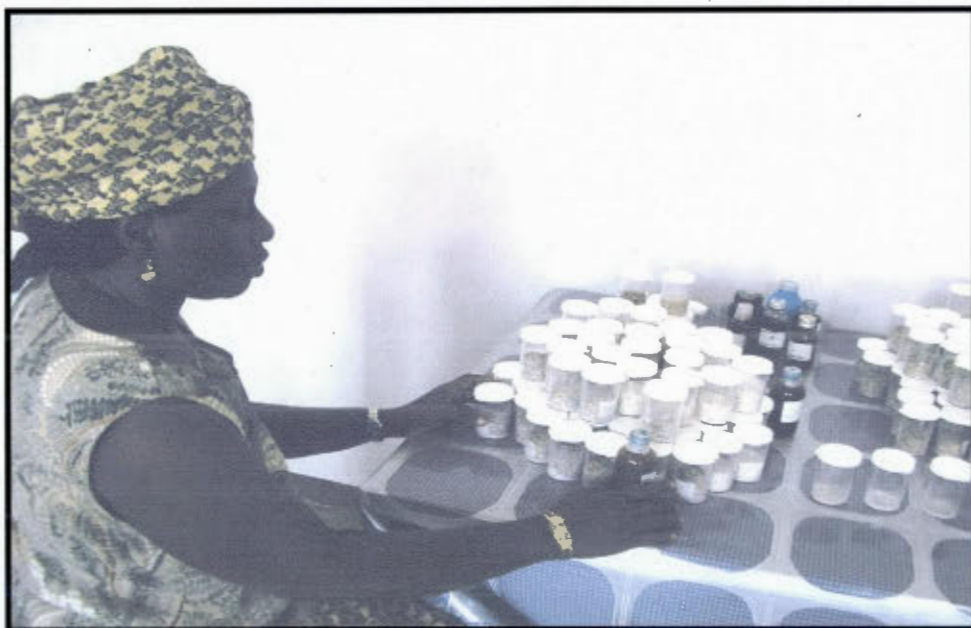


Flacons contenant les huiles essentielles (c)

Annexe 8: Extraction (a, b) et conservation des huiles obtenues

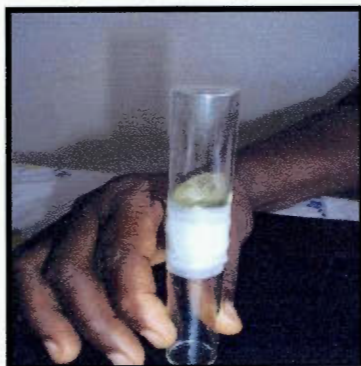


Échantillons de poudres et des milieux alimentaires à mélanger (a)



Mélange des milieux alimentaires aux poudres préparés (b)

Annexe 9: Mélange des milieux alimentaires avec les poudres aromatisées (a et b)



Montage des flacons (a et b)



c)



d)



Flacons préparés pour fumigation (c, d, e et f)

Annexe 10: Montage des flacons (a) et échantillons préparés pour fumigation (b,c,d,e,f)



Milieux témoins (a et b)



Riz non étuvés mélangés à l'huile d'Ob pour les expériences 1 (c) et 2 (d)



Riz étuvés mélangés à l'huile d'Ob pour les expériences 1(e) et 2 (f)

Annexe 11: Milieux témoins (a et b) avec les riz non étuvés (c et d) et étuvés (e et f) mélangés à l'huile d'Ob pour les expériences 1 et 2 du Chapitre V



Riz mélangés avec l'huile d'Og pour les expériences 1 (a) et 2 (b)



Riz mélangés avec l'huile de Cc pour les expériences 1 (c et d)



Riz mélangés avec l'huile de Cc pour l'expérience 2 (e)

Annexe 12: Riz non étuvés et riz étuvés mélangés aux huiles d'Og et de Cc pour les expériences 1 et 2 du chapitre V